

# AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

*Əlyazması hüququnda*

## **BÖYÜK DƏRİNLİKLİ SULARDA ÇƏKİLİŞ TEKNOLOGİYASI, XARİCİ VƏ DAXİLİ AMİLLƏR NƏZƏRƏ ALINMAQLA BORU KƏMƏRLƏRİNİN İSTİSMAR ETİBARLILIĞININ ARTIRILMASI**

İxtisas: 3354.01 – Neft və qaz kəmərlərinin, bazalarının  
və anbarlarının tikilməsi və istismarı

Elm sahəsi: Texnika elmləri

**İddiaçı: Mənsur Elxan oğlu Şahlarlı**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi  
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

### **AVTOREFERATI**

**Bakı – 2025**

Dissertasiya işi SOCAR-ın “Neftqazelmitədqıatlayihə” İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

**Elmi rəhbər:** Əməkdar mühəndis, texnika elmləri doktoru, professor  
**Qafar Qulamhüseyn oğlu İsmayılov**

**Rəsmi opponentlər:** Texnika elmləri doktoru, professor  
**Hüseynbala Fazil oğlu Mirələmov**

Texnika elmləri doktoru,  
**Əbdülağa Nəbi oğlu Qurbanov**

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru,  
**Qağaməli Höküməli oğlu Seyfullayev**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.03 Dissertasiya Şurası

Dissertasiya şurasının sədri: Texnika elmlər doktoru, dosent

**Arif Ələkbər oğlu Süleymanov**

Dissertasiya şurasının elmi katibi:

Texnika elmləri namizədi, dosent

**Yelena Yevgenyevna Şmonçeva**

Elmi seminarın sədri:

Texnika elmlər doktoru, professor

**Sakit Rauf oğlu Rəsulov**

İmzaları təsdiq edirəm:

ADNSU-nun

Texnika elmləri namizədi, dosent

elmi katibi:

**Nərminə Tarlan qızı Əliyeva**



## TƏDQIQATIN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

**Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi.** Xəzər dənizi və digər böyük dərinlikli sulara neft və qaz yataqlarının mənimsənilməsi, daha da dərinliklərə endikcə sualtı boru kəmərlərinin quraşdırılması və istismarı yeni üsul və texnologiyaların işlənilməsini qarşıya qoyur. Məlumdur ki, Xəzər dənizinin xəzəryanı ölkələr üzrə olan sektorlarında dənizin daha dərinliklərindən yataqlardakı neftin, qazın və digər enerji məhsullarının yığılması və sahilə nəql edilməsi yüzlərlə kilometr uzunluğunda sualtı boru kəmərləri vasitəsilə həyata keçirilir.

Dərin sulara ilk dəfə neft və qaz yataqlarının istismar olunmasından başlayaraq, “Əsrin Müqaviləsi” və ondan sonrakı dövrlər ərzində Xəzər dənizində və digər dərin sulara neft və qazın nəqlinin intensivləşməsi nəticəsində dənizin 180 metrədən başlayaraq, 2000-3000 metr və daha çox dərinliklərində tikinti-quraşdırma işlərinin aparılması ilə sualtı boru kəmərlərinin quraşdırma texnologiyalarının təhlükəsiz yerinə yetirilməsinə qoyulan tələblər xeyli artmışdır.

Aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, iqlimin dəyişkənliyi, mürəkkəbliyi və dərinlik artdıqca müxtəlif çəkiliş texnologiyalarının tətbiq olunmasına baxmayaraq, deformasiya nəticəsində baş verən qəza hallarının qarşısını almaqdan ötrü tətbiq edilən hesablama üsulları bu problemin qarşısını yetərincə ala bilmir. Bu da boru kəmərlərinin çəkiliş zamanı və yaxud çəkilişdən sonra hər hansı bir xarici amilin cüzi təsiri zamanı borunun etibarlılığının sıradan çıxmasına və müəyyən dağılmalara gətirib çıxardır.

Son zamanlar aparılan tədqiqat işlərinin nəticələri göstərir ki, sualtı boru kəmərlərinin istismar etibarlılığına daxili amillərin təsiri əhəmiyyətli dərəcədə çoxdur. Bu kəmərlərin ən zəif və ən həssas nöqtəsindən biri dik borular, daha doğrusu onların kəmərin üfqi hissəsi ilə birləşən yerləridir.

Sualtı boru kəmərlərinin dik boruların istismar etibarlılığının artırılması üçün onlara təsir edən xarici amillərin qeyri-səlis qiymətləndirilməsini aparmaq, alçaq təzyiqli qazların nəqli zamanı dəniz dibində borudaxili separasiyaya nail olmaq, sualtı borulara təsir edən hidrodinamik qüvvələrin hesablanmasını aparmaq, sızmaların

qarşısını almaqdan ötrü yeni diaqnostik texnologiyaların işlənilib hazırlanması vacib məsələlərdəndir.

Dərin su hövzələrində sualtı boru kəmərlərinin istismar və təmirinin mövcud problemlərinin araşdırılması, həmçinin “J” - üsulu ilə çəkiliş zamanı kəmərin divarının qalınlığının xarici amil hesab edilən hidrostatik təzyiqin təsirini nəzərə alınmaqla tədqiqi də əhəmiyyət kəsb edir.

Dünyada əsas enerji daşıyıcılarından olan neft, qaz və digər enerji məhsulları dərinlik artdıqca daha da mürəkkəbləşmələr və istismar çətinlikləri baş verdiyi üçün çəkiliş üsulları və daxili-xarici amillər nəzərə alınmaqla yeni innovativ texnologiyaların və diaqnostik üsulların işlənilməsi, istismar etibarlılığının və səmərəliliyin artırılması baxımından xeyli aktualıq kəsb edir.

**Tədqiqatın obyektı.** Böyük dərinlikli sulara neft qaz kəmərləri.

**Tədqiqatın predmeti.** Dənizdə neftqazçıxarmanın inkişafı, daha dərin sulara yataqların mənimsənilməsi ilə bağlı karbohidrogenlərin yığılması və nəqli əməliyyatlarının çevrəsi xeyli genişlənməmişdir. Bu gün hasilat 3000 m suyun dərinliyinə çatmışdır və daha böyük dərinliklərdə kəşfiyyat işləri aparılır. Bu dərinliklərdəki iş mühiti yeni texnologiyalar, eləcə də boru kəmərlərinin istismar müddəti ərzində bütövlüyü ilə bağlı yüksək tələblər doğurur.

Hal-hazırda super dərin su hövzələrində sualtı boru xətlərinin tikintisi zamanı etibarlı və təhlükəsiz istismarı amilləri, hidrodinamik qüvvələr və digər yük və yük birləşmələrini özündə ehtiva edən dayanıqlığının tədqiqi, təhlükəsizlik və ekoloji problemlərin aradan qaldırılması üçün risk amillərinin və diaqnostik metdlərin işlənilməsi zərurətləri dissertasiya mövzusunun seçilməsi üçün əsas və aktual məsələləri özündə cəmləşdirmişdir.

**Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri:** Tədqiqatın məqsədi kompüter proqramları, laboratoriya analizlərinin nəticələri, real-praktiki qiymətlərdən istifadə etməklə böyük dərinlikli sulara çəkiliş texnologiyası, xarici və daxili amillər nəzərə alınmaqla boru kəmərlərinin istismar etibarlılığının artırılmasına xidmət edir.

**Tədqiqatın vəzifələri:**

1. Sualtı boru kəmərlərinin çəkiliş texnologiyası məsələlərinin təhlili.

2. Sualtı boru kəmərlərinin dəniz dibində dayanıqlığı, yerli bükülmə, bükülmələrin yayılması məsələlərinin təhlili.

3. Sualtı boru kəmərlərində qəza hallarının qarşısının almaqdan ötrü risklərin qeyri-səlis qiymətləndirilməsinin tədqiqi.

4. Dərin sulara alçaq təzyiqli qazın nəqli zamanı boru daxili separasiya üsulunun işlənməsi.

5. Dik boruların quraşdırılması üçün yeni texnologiyanın işlənməsi.

6. Sualtı dəniz boru kəmərlərinə və dik borulara təsir edən hidrodinamik qüvvələrin təhlili.

7. Super dərinlikli su hövzələrində hidrostatik təzyiqdən və əyici momentdən yaranan gərginliklərin sualtı boru kəmərlərinə təsiri.

8. Sualtı boru kəmərlərində qəza sızma yerlərinin təyini üçün yeni diaqnostik üsulun işlənməsi.

9. Multifazlı axınlar zamanı boru kəmərinin istismar səmərəliliyinin təhlili.

**Tədqiqatın metodoloji əsasını** Xəzər dənizi və dünya praktikasında sualtı boruların çəkilmə zamanı tətbiq olunan nəzəri və praktiki faktlar, problemlərin qoyuluşu, öyrənilməsi, dərin sulara boru kəmərlərinin çəkiliş texnologiyası zamanı yaranmış çətinliklər və istismar etibarlılığının artırılması nəzəriyyəsinin müddəaları sistemi təşkil edir.

**Tədqiqatın metodları.** Tədqiqat zamanı ortaya atılmış məsələlər öz həllini nəzəri və praktiki yolla, sualtı boru kəmərlərinin quraşdırılması və istismar təcrübəsinin məlumatlarının təhlili əsasında, standart laboratoriya avadanlıqları, kompüter modeli və proqram vasitələri istifadə etməklə tapmışdır.

**Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:**

1. Super dərinlikli su hövzələrində hidrostatik təzyiqdən və əyici momentdən yaranan gərginliklərin sualtı boru kəmərlərinə təsiri.

2. Dərin sulara alçaq təzyiqli qazların nəqli zamanı boru daxili separasiya üsulu.

3. Sualtı boru kəmərlərində risklərin qeyri-səlis qiymətləndirilməsinin alqoritmik modeli.

4. Sualtı boru kəmərlərindən neft sızmalarının diaqnostikası üsulu.

### **Tədqiqatın elmi yeniliyi:**

1. Super dərinlikli su hövzələrində hidrostatik təzyiqdən və əyici momentdən yaranan gərginliklərin sualtı boru kəmərlərinə təsiri qiymətləndirilmişdir.

2. Dərin sularda alçaq təzyiqli qazların nəqli zamanı boru daxili separasiya üsulu işlənmişdir.

3. Sualtı boru kəmərlərində texnoloji risklərin qeyri-səlis qiymətləndirilməsi üçün alqoritmik modeli təklif olunmuşdur.

4. Sualtı boru kəmərlərində baş verən neft sızmalarının diaqnostika üsulu işlənmişdir.

### **Tədqiqatın nəzəri və praktik əhəmiyyəti.**

1. Neft kəmərlərində sızmaların yerini təyin etmək üçün təklif olunan empirik üsul delphi proqramında modelləşdirilmiş və sızmaların yerini müxtəlif dərinliklərdə əlavə vəsait və texnoloji avadanlıq sərf etmədən təyin etməyə imkan yaradır.

2. Alçaq təzyiqli qazın nəqli zamanı sualtı separasiya üçün təklif olunan konstruktiv qurğu qazın mexaniki hissəciklərdən ayrılmasına şərait yaradır;

3. J-metodu ilə super dərinliklərdə borular çəkilərkən dib hissədə əyici momentin tapılması üçün təklif olunan üsul borularda yerli bükülmənin yaranmasının qarşısını almağa imkan verir;

4. Sualtı boru kəmərlərində sızma halları zamanı yaranan risk amillərinin ekspert rəyləri əsasında qeyri-səlis məntiq nəzəriyyəsinə əsasən qiymətləndirilməsi üçün təklif olunan metod ətraf mühitin çirklənməsinin qarşısını almağa imkan verir.

5. Sualtı boru kəmərlərində baş verən qəza hallarının qeyri-səlis analitik üçbucaq iyerarxiya üsuluna əsasən alqoritmik ardıcılığın təklif olunması risk faktorlarının çəkisini hesablamağa imkan verir.

**Tədqiqatın nəticələrinin inandırıcılığı və obyektivliyi**  
problemin Xəzər dənizi yataqlarının meteoroloji və fiziki-reoloji datalarına müxtəlif dərinliklərdə hidrodinamik qüvvələrin, gərginliklərin, yerli bükülmələrin və onların boru boyunca yayılması, qravitasiya qüvvələrinin multifazalı axınların sərfinə təsiri amilləri, super dərinliklərdə buraxılabilən gərginliklərin limit həddinin

hesablanması, qəza-neft sızmalarının qeyri-səlis qiymətləndirilməsi kimi önəmli məsələlərin nəzəri təhlili və kompüter simulyasiyalarının aparılması, dissertasiyanın əsas müddəalarını keyfiyyət səviyyəsində təsdiqləyən nəzəri və praktiki nəticələri, laboratoriya analizlərinin nəticələrinə əsasən neftin tərkibinin multifazlı axınların struktur rejimlərinə təsiri, aparılan araşdırmaların SACS, Aspen HYSYS, Matlab, Delphi və Excell proqramları vasitəsilə hesablanması, alınan nəticələr və eksperimentdə iştirak edən tədqiqatçılar tərəfindən verilən müsbət qiymətlə öz əksini tapmışdır.

**İşin aprobeiasyası və tətbiqi:** Dissertasiya işinin əsas nəticələri Özbəkistanın Daşkənd şəhərində keçirilmiş “Intelligent System for Industrial Automation” adlı 11-ci Beynəlxalq konfransda (WCIS-2020); 21 may 2021-ci ildə Ümummillii lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 98-ci ildönümünə həsr olunmuş gənc tədqiqatçı və doktorantların onlayn elmi konfransında (Bakı 2021); 2021-ci il 5-7 oktyabr tarixlərində keçirilən SPE İllik Xəzər Texniki konfransında (OnePetro 2021); 19 noyabr 2021-ci ildə Aktauda “Innovative Technologies in Oil and gas Industry. Implementation Experience and Development Projects” elmi-praktiki konfransında; 26-27 November 2021 Bakı Mühəndislik Universitetində keçirilmiş “2th International Science and Engineering” konfransında; 17 dekabr 2021-ci ildə VI Beynəlxalq elmi araşdırmalar konfransında; 24-25 dekabr 2021-ci ildə Bakı Mühəndislik Universitetində keçirilmiş “The Sustainable Development of Economy and Administration: Problems and Perspectives” Beynəlxalq Elmi və Praktik konfransda; 18-29 Aprel 2022-ci il Bakı Ali neft Məktəbində Ümummillii lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 99-cu ildönümünə həsr olunmuş Tələbə və Gənc Tədqiqatçıların III Beynəlxalq Elmi Konfransları” konfransında; 28-29 aprel 2022-ci ildə Bakı Mühəndislik Universitetində Ümummillii lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 99-cu ildönümünə həsr olunmuş “VI international scientific conference of young researchers” elmi konfransında; 26-27 Avqust 2022-ci il Monteneqronun Budva şəhərində keçirilən “Applications of Fuzzy Systems, Soft Computing and Artificial Intelligence Tools” – ICAFS-2022 15-ci Beynəlxalq elmi konfransında; 11-13 oktyabr 2022-ci ildə keçirilmiş “The Fourth Eurasian Conference Innovations in Minimization of Natural and

Technological Risks. Satellite Symposium Technological, Environmental and Economic Risks of the Oil and Gas Sector” Beynəlxalq elmi konfransında; Xəzərneftqazıyaraq-2022 Beynəlxalq Elmi-Təcrübi Konfransda; 2023-cü il noyabr ayında Ümummillilider Heydər Əliyevin anadan olmasının 100-ci ildönümünə həsr olunmuş “Innovations in Minimization of Natural and Technological Risks” adlı Beynəlxalq elmi konfransda; 19 dekabr 2023-cü ildə “Xəzər və Dünya Akvatoriyasında Dinamik Neft Sızmasının Lokallaşdırılması” mövzusunda II Beynəlxalq seminarda müzakirə edilmişdir.

Dissertasiya işinin nəticələrinin tətbiqi aşağıdakı müddələrdə öz əksini tapmışdır:

1. Sualtı separasiya üçün təklif olunmuş konstruksiya alçaq qazın texnoloji avadanlıqlara çatmazdan və nəqlə verilməzdən əvvəl təmizlənməsinə imkan verə bilər;

2. Sualtı boru kəmərlərinin risk faktorlarının qeyri-səlis qiymətləndirilməsi üçün təklif olunan hesabi metodologiya sualtı boruların risk amillərinin ayrı-ayrı ekspertlər üzrə olan cəm vektorların ən yüksək qiymətlər vektoruna (başqa sözlə “çox yüksək” risk amilinə) qədər olan məsafənin hesablanması üçün tətbiq edilə bilər;

3. J-konfiqurasiyalı çəkiliş zamanı təklif olunan metodla borunun dəniz dibində əyici momentini təyin etmək üçün tətbiq edilə bilər;

4. Sualtı boru kəmərlərində sızma yerlərinin təyini üçün təklif olunan qiymətləndirmə sənayedə əlavə xərc tələb etmədən tətbiq edilə bilər.

**İddiaçının şəxsi töhfəsi.** Müəllifin şəxsi töhfəsi məqsəd və tədqiqat istiqamətinin seçilməsindən ibarətdir. Bundan əlavə, əldə olunan bütün nəticələr və tədqiqat metodlarının əlaqələndirilməsi də müəllifə aiddir. Həmçinin, xüsusi qeyd etmək lazımdır ki, tədqiqat işi “Böyük dərinlikli sulara çəkiliş texnologiyası, xarici və daxili amillər nəzərə alınmaqla boru kəmərlərinin istismar etibarlılığının artırılması”-nın təkmilləşdirilməsində, eləcə də, dissertasiyada vurğulanan əsas müddələrin tədqiq edilməsində nəzəri və praktiki bazanın inkişafında müstəsna rol oynayacaqdır.

**Nəşrlər.** Dissertasiya işinin əsas nəticələri 21 elmi əsərdə öz əksini tapmışdır, onlardan 5-i həmmüəllifsiz, o cümlədən Beynəlxalq xülasələndirmə və indeksləmə sistemlərinə daxil olan dövrü elmi nəşrlərdə 4 məqalə dərc olunmuşdur. 7-si xarici ölkədə olmaqla Respublika və Beynəlxalq miqyaslı elmi tədbirlərin nəticələri üzrə dərc olunmuş məruzələrin sayı 15-dir.

**Dissertasiyanın işarə sayı və həcmi:** Dissertasiyanın strukturu və həcmi tədqiqatın məntiqi və qarşıya qoyulmuş vəzifələrin həlli ardıcılığı ilə müəyyən olunmuşdur. Dissertasiya işi giriş (~ 27923), 4 fəsil (I Fəsil - 20269, II Fəsil ~ 54806, III Fəsil ~ 16917, IV Fəsil ~ 44855), nəticələr, 130 adda ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. İşin ümumi həcmi 189 səhifədir (~ 167333 işarə sayı).

## İŞİN MƏZMUNU

Dissertasiyanın giriş hissəsində işin aktuallığı əsaslandırılmış, məqsədi və həll olunmuş əsas məsələlər verilmiş, elmi yeniliyi, təcrübi əhəmiyyəti və müdafiə olunan müddəalar göstərilmiş, qısa şəkildə dissertasiyanın məzmunu açıqlanmışdır.

**Dissertasiya işinin birinci fəslə,** “super dərinlikli sulara boru kəmərlərinin çəkilmə texnologiyaları və quraşdırılma zamanı reaksiya qüvvələrinin təhlili” adlanır və 5 yarım fəsildən ibarətdir.

Birinci yarım fəsildə sualtı boru kəmərlərinin çəkilməsi əməliyyatlarına qoyulan tələblər, tikinti və quraşdırma zamanı meyarlar, sualtı boru kəmərləri çəkilərkən borunun bütövlüyünü və dayanıqlığını qorumaq üçün əsas parametrlər və dünya praktikasında sualtı boru kəmərlərinin çəkilməsi üsulları şərh edilmişdir.

İkinci yarım fəsildə S-üsulu ilə sualtı boruların çəkilməsi texnologiyaları, çəkiliş zamanı gərginliyi azaltmaq üçün stingerlər, onların xüsusi funksiyaları, dəniz dibindəki borunun əyilməsindən yaranan gərginliyi aradan qaldırmaqdan ötrü xüsusi tarımlayıcı qurğuların funksiyası, S-metodunun mənfi və müsbət xüsusiyyəti və sualtı boru xətti quraşdırılarkən müxtəlif növ borudüzən gəmilərdə borunun gediş bucağının hesablanması bəhs edilmişdir.

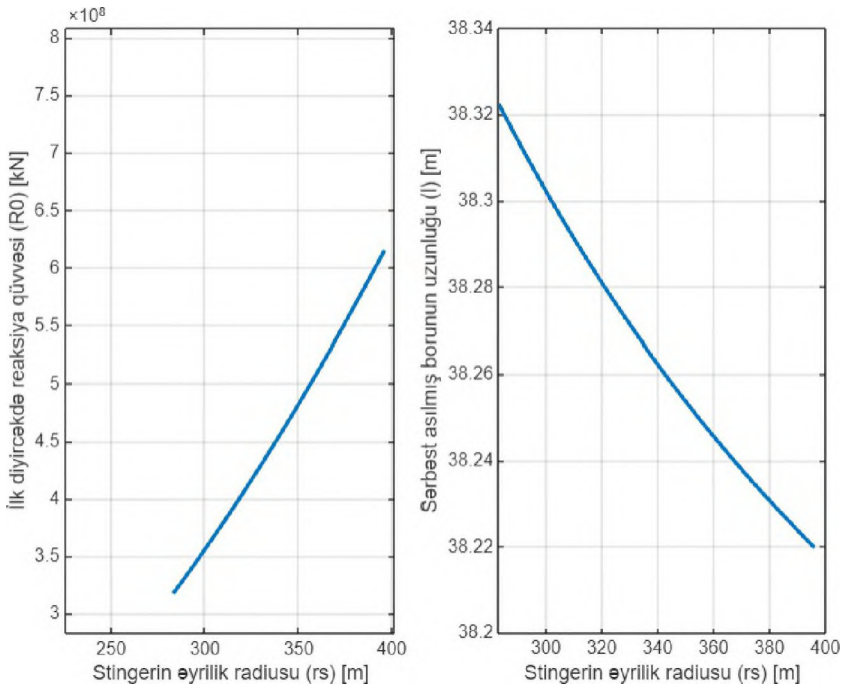
Üçüncü yarım fəsildə J-üsulu ilə sualtı boruların quraşdırılmasının təhlili aparılmış və onun S-metodu ilə müqayisədə

daha dərin sularda tətbiqinin və bu zaman stinger  ehtiyacın qalmadıđı izah edilmiřdir.

Dördüncü yarım fəsildə baraban üsulu ilə sualtı boruların  ekilməsi texnologiyasının təhlili, qurařdırılma zamanı yaranan əyrilik momentinin qrafiki asılılıđından bəhs edilir

Beřinci yarım fəsildə sualtı boruların qurařdırılması zamanı stingerd  v  boruda reaksiya qüvvələrinin təhlili, stinger üzərində dayađ reaksiyaları, əyici momenti, stingerin asma dayađında maksimum dayađ reaksiyasından bəhs edilmiřdir.

Nəticədə Matlab proqramı vasitəsilə qurařdırma zamanı diyirc kd  yaranan reaksiya qüvvəsi v  sərbəst asılmıř borunun uzunluđunun stingerin əyilmə radiusundan asılılıđının Matlab proqramı vasitəsilə simulyasiyası verilmiřdir (řekil 1).



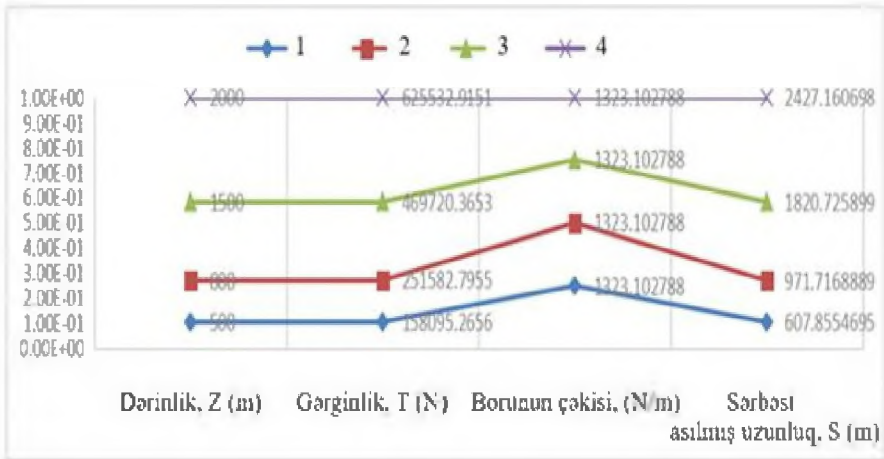
**řekil 1. Qurařdırma zamanı diyirc kd  yaranan reaksiya qüvvəsi v  sərbəst asılmıř borunun uzunluđunun stingerin əyilmə radiusundan asılılıđının Matlab proqramı vasitəsilə simulyasiyası**

Dissertasiyanın II fəslı, “ultura dərın sularda boru kəmərlerının çəkilməsi zamanı hidrodinamik qüvvələrin, yerli bükülmələrin, gərginliklərin təyini və yerli bükülmənin qarşısını almaq üçün yeni üsulun işlənilməsi” adlanır, 12 yarım fəsildən ibarətdir.

Birinci yarım fəsildə çəkiliş texnologiyası zamanı borunun geometriyasının təyini və təhlili məsələlərinə baxılmış, sonda isə borunun sərbəst uzunluq və dənizin dərınlıyindən asılı olaraq horizontal, vertikal və cəm gərginlikləri təyin edilmişdir.

II fəslin ikinci yarım bölməsində Xəzər dənizində sualtı boru kəmərlerinin müxtəlif dərınlıklərdə yüklərin statik təhlili məsələlərinə baxılmış və borunun gərilməsinin suyun dərınlıyindən asılılığı, quraşdırılan boruların diametrinin gərilmə və deformasiyadan asılılığı, hidrostatik təzyiqin dərınlıkdən asılı olaraq dəyişməsi və ox boyu deformasiyanın gərilmədən asılılığı simulyasiyası Matlab proqramı vasitəsilə yerinə yetirilmişdir.

Şəkil 2-də quraşdırılma zamanı müxtəlif dərınlıklər [500-2000m] üçün borunun sərbəst asılmış hissəsinin uzunluğunun dərınlıq, gərginlik, və borunun çəkisindən asılılığı göstərilmişdir.



**Şəkil 2. Quraşdırılma dərınlıyı [500-2000] m intervalda dəyişən sualtı boru kəmərlerinin sərbəst asılmış hissəsinin uzunluğunun, suda batmış borunun çəkisinin və gərginliyin asılılıq əlaqələri**

II fəslin üçüncü yarım bölməsində sualtı boruların dibdəki dayanıqlılığının yoxlanılması və təhlili məsələləri tədqiq edilmiş sualtı boru kəmərinin şaquli stabilliyinin yoxlanılmasının hesablaması aparılmış və beynəlxalq standartlara əsasən hesablamaların keçərliliyi təsdiqlənmişdir.

II fəslin dördüncü yarım bölməsində sualtı boru kəmərlərinin quraşdırılması və istismarı zamanı qısamüddətli dalğa şərtləri və JONSWAP spektri məsələlərindən bəhs edilir.

II fəslin beşinci yarım bölməsində ətraf mühit məlumatları, boru-torpaq əlaqəsindən bəhs edilmiş və hesablama üçün bu bölmədə bir neçə fərziyyə verilmişdir, bunlar:

1. Quraşdırma mərhələsində boru kəməri üçün yalnız bir illik periodik dalğalar və cərəyanlar nəzərə alınır;

2. Dalğalar və cərəyanların istiqaməti boru kəmərinə perpendikulyar təsir göstərir;

3. Dəniz suyunun sıxlığı,  $\rho_{su} = 1016-1025 \text{ kq/m}^3$ ;

4. Dəniz dibinin relyefi düz sonsuz səth nəzərdə tutulur;

5. Ümumi nüfuzətmə  $0,2D$  qəbul edilir;

6. İlk nüfuzdan sonra dənizin dibi su keçirməzdir;

7. Döşəmə zamanı dinamika və boruların hərəkətinə görə yerləşdirmə zamanı xəndək qazma, nüfuz etmə;

8. Dəniz dibindəki qum hissəciklərinin ümumi ölçüsü  $0.5-2 \text{ mm}$  arasındadır;

9. Xəzər dənizi üçün sahəyə xas yayılma parametri ( $s$ )  $4$  qəbul edilir, Şimal dənizində  $6-8$  diapazonu istifadə edilə bilər.

II fəslin altıncı yarım bölməsində axın sürətinin hesablanması məsələlərinə baxılmış, İz modelinin tətbiqi ilə tezlikdən asılı olaraq spektral asılılıq üçün nəzəri və ölçmə əsasında aparılmış müqayisəyə əsasən sürətin zamandan asılı olaraq dəyişməsi, sərbəst axın sürətinin zamandan asılı olaraq dəyişməsi, İz modelinin zamandan asılı olaraq dəyişməsi, effektiv sürətin zamandan asılılığı, horizontal qüvvələrin zamandan asılılığı, vertikal qüvvələrin zamandan asılılığı, torpağın müqavimətinin zamandan asılı olaraq dəyişməsi asılılıqlarının modeli dənizin  $300 \text{ m}$  və daha çox dərinlikləri üçün dibdəki kələ-kötürlük nəzərə alınmaqla Matlab proqramında qurulmuş və simulyasiyası aparılmışdır.

II fəslin yeddinci yarım bölməsində Xəzər dənizində 300 m dərinlikdə dik borulara təsir edən hidrodinamiki qüvvələrin SACS proqramı vasitəsilə hesablanması aparılmışdır.

Hesabat üçün aşağıdakı ilkin parametrlər götürülmüşdür:

H= 300 m dəniz dərinliyi;

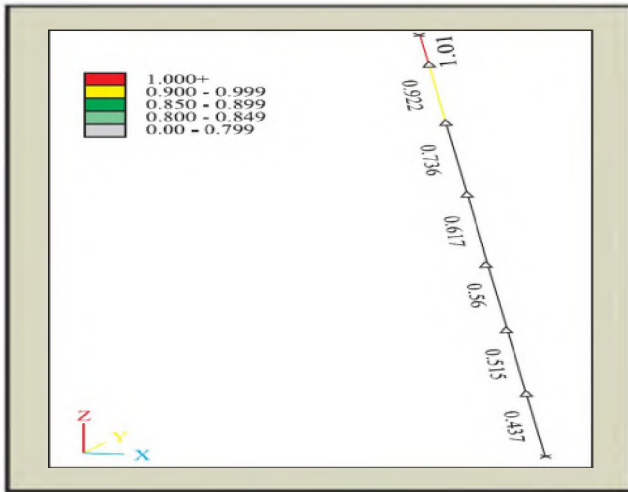
boru ASME 36.10<sup>1</sup>standartına əsasən D= 323.8 mm diametrlilik dik boru;

Borunun divarının qalınlığı ASME 36.10<sup>1</sup>standartına əsasən uyğun olaraq 10.31 mm, 11.13 mm və 12.70 mm qəbul edilmişdir

Hesablamaların və simulyasiyaların nəticələri üç variant üçün verilmişdir.

Variant-1. Keçməyən hal- boru qəzaya uğrayır və arzuolunmaz hallar baş verir (Şəkil 3);

Variant-2. Kritik hal – yəni dik boru istismar oluna bilər, lakin gözlənilməz hidrodinamik zərbə nəticəsində daim dağılmaya hazır vəziyyətdədir;



**Şəkil 3. 1-ci hal üçün yük birləşmələrinin təsir profili (1-ci variant)**

<sup>1</sup> ASME B36.10M "Welded and Seamless Wrought Steel Pipe" // Adopted in 2023. – New York: American Society of Mechanical Engineers (ASME), – 2023, – 29 p.

Variant-3. Keçən hal - yəni, dik boru bu ölçülərdə Xəzər dənizinin 300 m dərinliyində tam təhlükəsiz istismar oluna bilər.

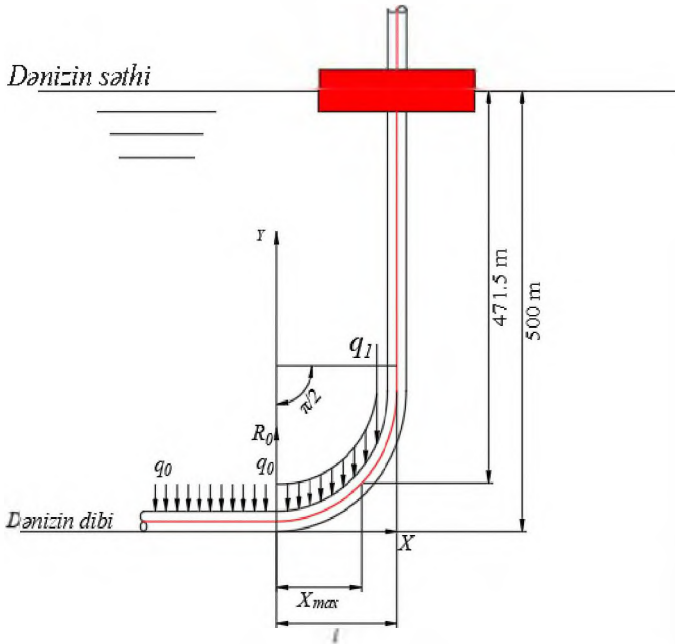
II fəslin səkkizinci yarım fəslində - sualtı boru kəmərlərinin materiallarının seçilməsi və xarakterik xüsusiyyətlərinin təhlili məsələlərindən bəhs edilmişdir. Böyük diametrlı borular (30 düymdən çox) istisna olmaqla, yüksək təzyiqli boru kəmərləri və ya dərin sularda material dərəcəsi adətən X-60 və ya X-65 kimi qəbul edilir. Xüsusi hallarda daha yüksək qiymətlər seçilə bilər. X-42, X-52 və ya X-56 kimi aşağı siniflər dayaz suda və ya material xərclərini azaltmaq üçün aşağı təzyiqli, böyük diametrlı boru kəmərləri üçün və ya təkmilləşdirilmiş təsir müqaviməti üçün yüksək elastiklik tələb olunduğu hallarda seçilə bilər.

II fəslin doqquzuncu yarım bölməsində sualtı boru kəmərlərinin quraşdırılması zamanı əmələ gələn ovallaşmadan bəhs edilmişdir. Bükülmə nəticəsində yaranan yastılaşma və ya ovallaşma, 3%-dən çox olmamalıdır. Böyük ovallaşma boru kəmərinin struktur gücünün azalması ilə nəticələnəcək. Ovallaşma, boru kəmərinin ən kəsik sahəsinin mükəmməl dairə olmadığı, lakin müəyyən dərəcədə yastılaşdığı bir vəziyyətdir. Ovallaşma problemləri boru kəmərinin divar qalınlığını artırmaqla azaldıla bilər.

II fəslin onuncu yarım bölməsində sualtı boru kəmərlərinin çəkilişi zamanı yaranan yerli bükülmə və onun yayılmasının təhlili aparılmışdır. Sualtı boru kəmərlərində baş verən ovallaşma və ya bükülmənin yayılması prosesinin ardıcılığı göstərilmiş, Xarici təzyiqin mövcudluğunda təmiz əyilmə və əyilmələrə məruz qalan boruların qrafik nəticələri kimi moment – əyrilik və ovallaşma – əyrilik asılılıqları verilmiş, sualtı boru xəttinin 3-cü vasitə (agent) tərəfindən dağılması prosesi göstərilmişdir.

II fəslin onbirinci yarım bölməsində super dərinliklərdə hidrostatik təzyiqdən və əyici momentdən yaranan gərginliklərin sualtı boru kəmərlərinə təsirindən bəhs edir və << J >> üsulla çəkiliş zamanı texnologiyaları bir qayda olaraq daha dərin su hövzələrində tətbiq

olunduğu üçün aşağıdakı halda hidrostatik təzyiqin boru kəmərinin möhkəmliyinə təsirinin tədqiqi məsələsinə baxılmışdır (Şəkil 4)<sup>2</sup>.



**Şəkil 4. Boru kəmərinin divarında yüklərin paylanması sxemi**

Sualtı boru kəmərinin suyun dərinliyinin  $H=500$  m olduğu hal üçün, yolverilən möhkəmlik həddinin  $[\sigma_{bur}^{m\ddot{o}h}] = 4000$   $\text{kkq}/\text{sm}^2$  olduğunu nəzərə alaraq “J” çəkiliş üsuluna uyğun boru kəmərinin gərginlik-deformasiya vəziyyətinin təhlilinə uyğun olaraq hidrostatik təzyiqdən yaranan və sıxılma gərginliklərinin uyğun olaraq  $\sigma_{hid} = -391$   $\text{kkq}/\text{sm}^2$  və  $\sigma_{c\ddot{o}m} = -4129$   $\text{kkq}/\text{sm}^2$  təşkil etdikdə  $\sigma_{c\ddot{o}m} > [\sigma_{bur}^{m\ddot{o}h}]$  olduğu müəyyən edilmişdir.

<sup>2</sup> İsmayılov, Q.Q., Şahlarlı, M.E. Super dərinliklərdə hidrostatik təzyiqdən və əyici momentdən yaranan gərginliklərin sualtı boru kəmərlərinə təsiri // – Bakı: PAHTEİ, – 2024. 36(05), № 01, – s. 437–443.

Bu yarım bölmədə həmçinin bükülməyə qarşı boru tutucuları (məhdudlaşdırıcılar) və onların növləri verilmişdir. Təklif edilən məhdudlaşdırıcılar, müxtəlif dərinliklər və iqtisadi baxımdan səmərəliliyi nəzərə alınmaqla təsnif edilmişdir. Xəzər dənizinin müxtəlif dərinlikləri üçün diametri fərqlənən boruların çəkilişi zamanı bükülmənin yayılması kriteriyasının hesablanması məsələlərinə baxılmış və sualtı boru kəmərlərinin quraşdırılması zamanı yerli bükülmə və xarici təzyiqin boru kəmərinin diametrindən və suyun dərinliyindən asılı olaraq dəyişməsinin modeli Matlab programında qurulmuş və asılılıq simulyasiyası verilmişdir.

Sualtı boru yerli bükülmənin yayılmasının müxtəlif dərinliklər üçün Excel vasitəsilə aparılmış və material dərəcəsinin bükülmənin yayılma təzyiqindən asılı olaraq qrafiki dəyişməsi göstərilmişdir.

Dissertasiyanın III fəslı, “sualtı boru kəmərlərində qəza risklərinin qeyri-səlis qiymətləndirilməsi və istismar çətinliklərinin diaqnostikası” adlanır və 4 yarım bölmədən ibarətdir.

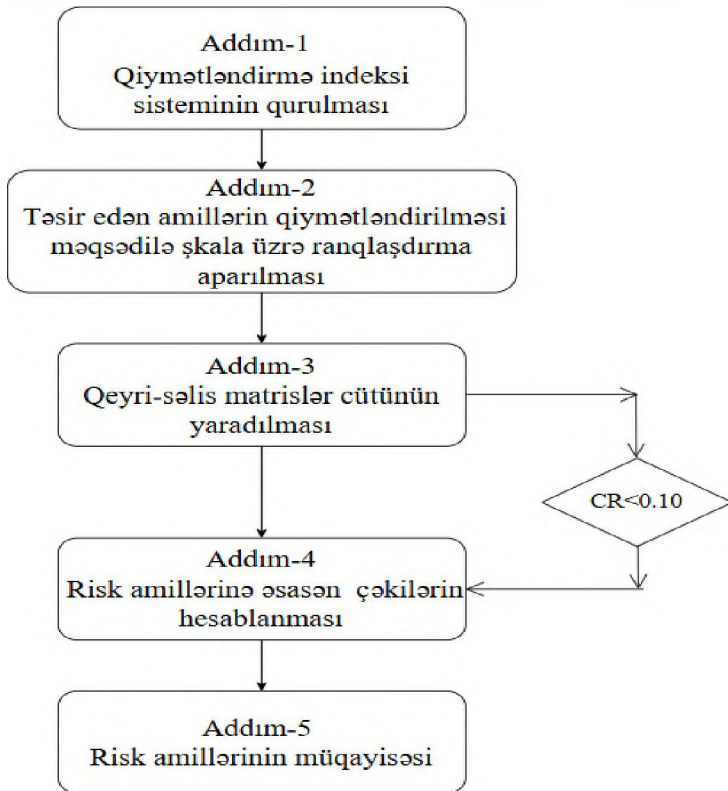
III fəslin birinci yarım bölməsində sualtı boru kəmərlərində qəza hallarının qeyri-səlis qiymətləndirilməsi üçün yeni alqoritmin işlənilməsi məsələlərinə baxılmışdır. Üçbucaq medotuna əsasən qeyri-səlis analitik iyerarxiya prosesinin aparılması addımları verilmiş və risk amillərinin çəki qiymətləri [0-1] intervalında təyin edilmişdir (Şəkil 5)<sup>3</sup>.

III fəslin ikinci yarım bölməsində sualtı neft kəmərinə texnoloji risklərin qeyri-səlis qiymətləndirilməsi məsələlərinə toxunulmuşdur. Neft kəmərlərindən qəza sızmaları tezliklərinin proqnozu bir qayda olaraq qruplara ayrılmış, birləşmiş amillərin təsiri verilmiş, hər bir qrup amillərinin baxılan boru kəmərinə qəza hallarının dəyişmə intensivliyinə nisbi təsir dərəcəsi çəki əmsalı (amillər qrupunun pay hissəsi) göstərilmiş, qəbul edilmiş çəki əmsalları nəzərə alınmaqla

---

<sup>3</sup>Ismayilova, H.G., Shahlarlı, M.E., Ismayilova, F. Investigation of submarine pipeline failure accidents in deepwater based on the fuzzy analytical hierarchy process // 15th International Conference on Applications of Fuzzy Systems, Soft Computing and Artificial Intelligence Tools (ICAFS-2022), – Budva: Springer Cham, – 26-27 august, – 2023, – p. 391-398.

təsir edən amillərin qiymətləndirilməsi məqsədilə 5 ballıq şkala üzrə aşağıdakı kimi rəqləşdırma aparılmış, neft sızmaları üçün qeyd olunan amillərə aid ekspert rəylərinin aqreqasiyası aparılmışdır.



**Şəkil 5. Sualtı boru kəmərlərində baş verən qəza hallarının tədqiqi üçün tərtib olunan alqoritm**

Sonda, ayrı-ayrı ekspertlər və ekspert qrupunun rəyi nəzərə alınmaqla qəza risklərinin “çox yüksək” risk göstəricisindən neçə faiz uzaq olmasını və hesablanmış yekun vektorunun əsasında son qiymətləndirmə aparılmışdır.

III fəslin üçüncü yarım bölməsində sualtı boru kəmərlərindən neft sızmalarının suyun dərinliyi nəzərə alınmaqla diaqnostikası üsullarının işlənməsi məsələsinə baxılmışdır. Aparılmış hesablamaların nəticələrinə əsaslanaraq, Delfi mühitində Windows sistemi üçün təyin olunmuş xüsusi proqram vasitəsilə 3 ölçülü fəzada

Sızma yerinin ( $X_{sy}$ ), sızma halı baş verdikdən sonra kəmərdə neftin sərfi ( $Q_1$ ) və kəmərin başlanğıcındakı təzyiqin hidrostatik təzyiqə nisbəti ( $P_1/P_{hid}$ ) parametrləri arasındakı asılılıqlar qrafiki olaraq təsvir edilmişdir. Həmin təsvirlər  $X_{sy} - Q - P_1/P_{hid}$  koordinat sistemində sızma hallarının  $q=1,3,7\%$  qiymətləri üçün qrafiki olaraq təsvir edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, çox yüksək korrelyasiya əmsalına malik ( $R_2=0.999$ ) aşağıdakı reqressiya tənliyi-emprik<sup>4</sup> ifadəyə əsasən  $Q_1$  və  $P_1/P_{hid}$  parametrlərindən asılı olaraq dolayı yolla 1%-ə qədər dəqiqliklə sızma yerini təyin etmək olar.

$$X_{sy}=a+\frac{b}{Q_1}+c\frac{P_1}{P_{hid}}+\frac{d}{Q_1^2}+e\left(\frac{P_1}{P_{hid}}\right)^2+f\frac{P_1}{Q_1P_{hid}}+\frac{g}{Q_1^3}+h\left(\frac{P_1}{P_{hid}}\right)^3+\frac{i}{Q_1}\left(\frac{P_1}{P_{hid}}\right)^2+\frac{j}{Q_1^2}\left(\frac{P_1}{P_{hid}}\right)$$

Burada: a, b,..., j əmsallardır və dənizin dərinliyindən asılı olaraq qiymətləri cədvəl 1-də verilmişdir.

Dissertasiyanın IV fəslı, “multifazalı sualtı boru kəmərlərinin (dik boruların) istismar etibarlılığının artırılması yolları” adlanır və 8 yarım bölmədən ibarətdir.

IV fəslin birinci yarım bölməsi multifazalı axınlar zamanı sualtı boru kəmərlərinin istismar etibarlılığına təsir edən amillərə həsr olunmuşdur. Üfüqi və vertikal boru kəmərlərində multifazalı axının struktur formaları verilmiş, multifazalı aşağıdan yuxarı vertikal axınlarda həlqəvi-çubuqlu və dumanlı struktur rejimlərdə maye və qaz formalarının paylanması göstərilmişdir.

IV fəslin ikinci yarım bölməsində multifazalı axınlar üçün struktur rejim xəritələri verilmişdir (Şəkil 6)<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> İsmayılov, Q.Q., İsmayılova, H.Q., Şahlarlı, M.E. Sualtı boru kəmərlərindən neft sızmalarının diaqnostika üsullarının işlənməsi // – Bakı: Fövqəladə Hallar Nazirliyinin Akademiyasının Elmi Xəbərləri, – 2023. №2, – s. 70–76.

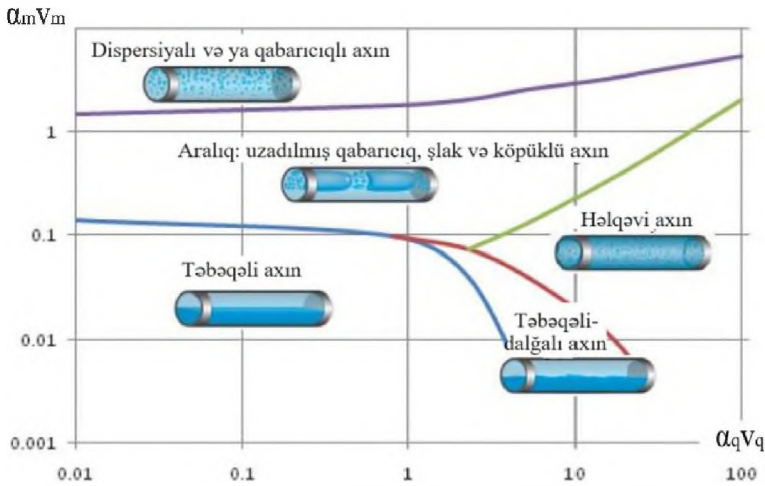
<sup>5</sup> Bratland, O. Pipe Flow 2: Multi-phase Flow Assurance / O. Bartland. – Trondheim: drbratland.com, – 2010. – 379 p.

Cədvəl 1

Müxtəlif sızma halları üçün						
	H <sub>d</sub> = 150 m			H <sub>d</sub> = 200 m		
	1	3	7	1	3	7
a	-0,204	-1,006	-4,821	-0,060	-0,927	-4,0362
b	-0,302	-0,191	0,198	-0,438	-0,312	0,170
c	-0,396	-0,210	0,733	-0,650	-0,398	-0,797
d	-0,1399	-0,1434	-0,1623	-0,1836	-0,1874	-0,2007
e	0,1166	0,1124	-0,1068	0,2833	0,2828	0,8646
f	0,4274	0,3838	0,3302	0,5300	0,4672	0,2932
g	0,0001	0,0001	0,0003	0,0001	0,0001	0,0002
h	-0,0427	-0,0467	-0,0223	-0,1011	-0,1107	-0,2291
i	0,0441	0,0490	0,0432	0,0785	0,0872	0,1130
j	0,1311	0,1318	0,1357	0,1748	0,1758	0,1773
	H <sub>d</sub> = 350 m			H <sub>d</sub> = 500 m		
a	0,096	-0,813	-3,789	0.311	-0.655	-3.399
b	-0,563	-0,421	0,106	-0.679	-0.519	0.0543
c	-0,981	-0,698	-1,158	-1.463	-1.139	-2.754
d	-0,2274	-0,2314	-0,2451	-0.2711	-0.2754	-0.2898
e	0,5465	0,5717	1,6199	0.9543	10.101	27.221
f	0,6116	0,5283	0,2941	0.6736	0.5667	0.2675
g	0,0001	0,0001	0,0002	0.0001	0.0001	0.0002
h	-0,1952	-0,2163	-0,4475	-0.3371	-0.3737	-0.7732
i	0,1230	0,1364	0,1768	0.1772	0.1966	0.2546
j	0,2185	0,2198	0,2217	0.2622	0.2638	0.2660

Axının struktur rejim təsnifatları eksperimental boru kəmərlərində baş verən hadisələrin vizual müşahidələrinə əsaslanmışdır. Mühəndislik tətbiqləri üçün vizual müşahidələr həmişə mövcud olmaya bilər və verilən axın parametrləri təsnifatı üçün boru xətti daxilində axın rejimlərini proqnozlaşdırmaq üçün istifadə edilə bilən sadə metodlara ehtiyac var. Beləliklə, bir struktur rejimdən digərinə keçməsinə təyin etmək üçün axın rejimi xəritələri ya eksperimental məlumatlar, ya da mexaniki modellər əsasında hazırlanmalıdır. Bununla belə, axın xəritələri əvvəlcədən təyin edilmiş

mayelərin xassələrinə və boru kəmərinin həndəsəsinə görə faydalılıq baxımından məhduddur. Onlar həmçinin iki fazadan çox axınlar üçün məhdud istifadə olunur.



**Şəkil 6. Üfüqi boruda iki fazalı qaz-maye axını üçün axın rejimi xəritəsinin nümunəsi**

Horizontal qaz-maye axınları üçün daha çox istifadə olunan struktur rejim xəritəsi Taitel və Dikler (1976) tərəfindən verilmişdir.

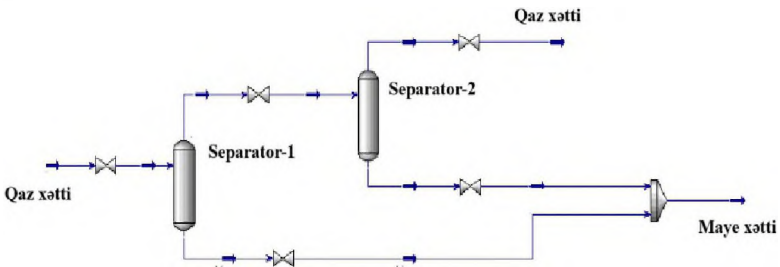
IV fəslin üçüncü yarım bölməsində dik borularda tıxacların yaranmasına qarşı texnoloji sxemin simulyasiyası aparılmışdır. Dik borunun dənizin dib hissəsindəki əyilməsi, yəni dənizin dibindən platformaya qalxan hissədəki əyirinin olması səbəbindən, rayzerlərdə şlakların əmələgəlmə ehtimalını artırır. Dik boruda şlak əmələ gəlməsi aşağıdakı 4-mərhələ üzrə baş vermiş olur.

1. Maye yığılması;
2. Şlakın əmələ gəlməsi;
3. Qabarcıqların əmələ gəlməsi;
4. Qazın partlaması və mayenin atılması.

Dik borularda və dəniz dibinin relyefi ilə əlaqədar olaraq multifazlı axın zamanı yaranan problemər araşdırılmış, dənizin dibindən stasionar özülə qalxan dirsəklərdə, yəni əyribucaqlılarda tədqiqatlar zamanı arzuolunan və arzuolunmaz şərtlər göstərilmişdir. Borunun platformaya qalxan hissəsində, yəni dik borunun dirsək

hissələrində əmələ gələn arzuolunmaz halların riyazi təsviri verilmişdir. Dəniz dibinin relyefi və kələkötürlüyü ilə əlaqədar olaraq, platformalar arası və sahilə gedən sualtı boru kəmərlərinin çökək hissələrində mexaniki bərk hissəciklərin toplanması sualtı boru kəmərlərinin deşilməsinə və sızmalar nəticəsində ətraf mühitin çirklənməsinə səbəb olduğunu nəzərə alaraq sonuncu hissədə isə həmin halların qarşısını almaq üçün texnoloji sxem təklif olunmuşdur. Aspen HYSYS proqramı vasitəsilə laboratoriya təhlili nəticələrinə uyğun texnoloji sxemin simulyasiyası aparılmış, müxtəlif termodinamiki fiziki parametrlərin qrafiki və simulyativ asılılıqları verilmişdir (Şəkil 7)<sup>6</sup>.

IV fəslin dördüncü yarım bölməsində şlaklı axınların qarşısının alınması üçün texnologiyaların tədqiqi məsələlərinə baxılmışdır. Eksperimental, nəzəri və çöl tədqiqatlarına əsaslanaraq hal-hazırda bir sıra ciddi, tıxaclara nəzarət üsulları təklif edilmişdir ki, bu paraqrafda həmin üsulların iş prinsipi, müsbət və çatışmayan cəhətləri təhlil edilmişdir.



**Səkil 7. Texnoloji sxemin Aspen HYSYS proqramında qurulması**

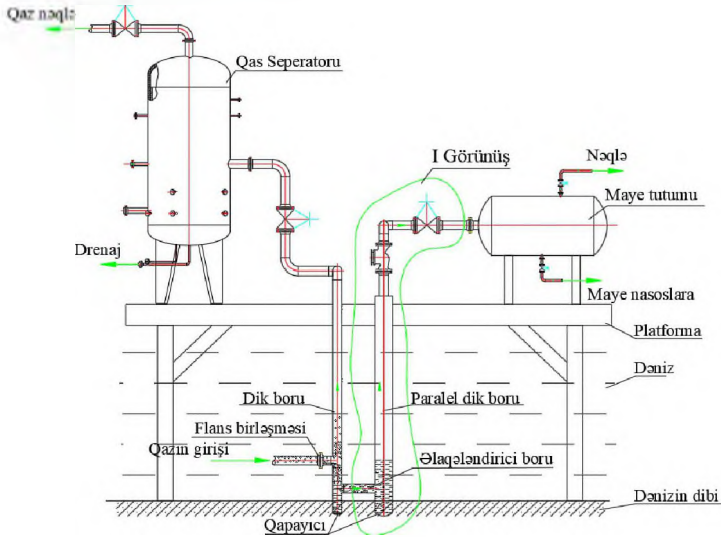
IV fəslin beşinci yarım bölməsində alçaq təzyiqli qazın nəqli zamanı sualtı boru daxili separasiya üçün yeni konstruktiv qurğu

<sup>6</sup>İsmayılov, Q.Q., Şahlarlı, M.E., İsmayılov, Ş.Z. Multifazalı sualtı boru kəmərlərinin istismar səmərəliliyinin artırılmasının bəzi məsələləri // – Bakı: Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, – 2022. Cild 14, № 2, – s.75-80.

işlənilmiş (Şəkil 8)<sup>7</sup> və Dalamber prinsipinə əsasən riyazi təhlili aparılmışdır.

Bu üsul multifazlı axını, maye və qaza ayırmaq üçün sualtı boru daxili separasiya qurğularından istifadə edir. Beləliklə, qaz və maye üçün iki ayrı boru kəməri tələb olunur. Mayenin özülə çatdırılması üçün lazım olan basqını təmin etmək üçün dalma nasosu tələb olunur. Nəticə etibarilə, bu üsul çoxfazlı axının qarşısını alır və şiddətli şlakların qarşısını alır.

Bu məqsədlə nəql zamanı boru kəmərinin istismar etibarlılığının artırılması üçün yeni metod işlənilib hazırlanmışdır.



**Şəkil 8. Təklif olunan konstruksiyanın prinsipli sxemi**

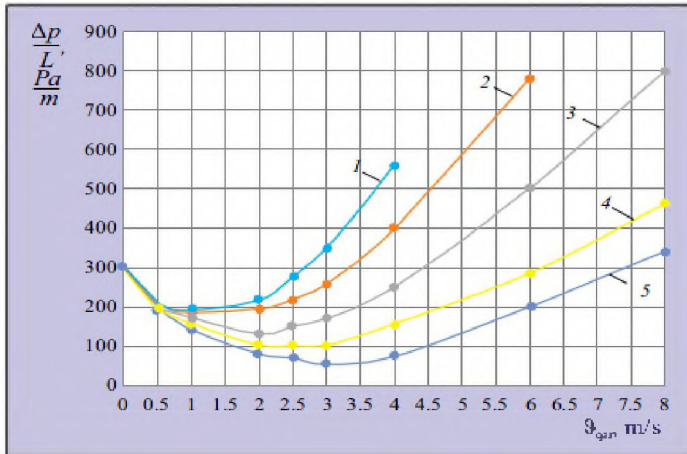
Bu texnologiya əsasən dənizin dibində boru daxili separasiyanı nəzərdə tutur. Əvvəlcə Dalamber prinsipinə görə, şaquli bir boruda maye və bərk hissəciklərə təsir edən qüvvələr araşdırılmış, sonra isə nəticələrə əsasən dənizin dibindəki qazın təmizlənməsi və separatora ötürülməsi üçün yeni bir konstruksiya təklif edilmişdi. Aşağı təzyiqli

<sup>7</sup>Shahlarli, M.E. To Increase the Efficiency of Low-Pressure Gas Transportation in the Gunashli Energy Sector // SPE Annual Caspian Technical Conference, – Baku: OnePetro, –5-7 october, – 2021, – p. 1-5.

qazın nəqlində meydançaya qalxma yerlərində maye və mexaniki qarışıqların dik boruda yığılma hallarının qarşısının alınması üçün dik borunun konstruksiyasında dəyişiklik təklif olunmuşdur. Dik boruya paralel ikinci bir boru buraxılır və aşağı hissədən dik boru ilə birləşdirilir. Həmin borunun uzunluğu dik borunun uzunluğundan böyük olur. Paralel quraşdırılmış boru bir neçə metr dənizin dibində qrunta otuzdurulur. Dik boru üzərində, onunla paralel borunun birləşmə yerindən yuxarıda flans birləşməsi quraşdırılır və sualtı boru kəməri flans birləşməsinə birləşdirilir. Paralel borunun içərisinə nasos-kompresor boru kəmərinin ucunda dalma nasosu buraxılır. Dik boruda ayrılan maye və mexaniki qarışıqlar birləşmiş qablar qanununa əsasən boru birləşmə vasitəsilə paralel borunun aşağı hissəsinə yığılır.

Paralel boruda yığılmış maye dalma nasosu vasitəsilə texnoloji bloka vurulur.

IV fəslin altıncı yarım bölməsində dik borularda qravitasiya itkilərinin sualtı boru kəmərinə sərf xarakteristikasına təsiri məsələləri araşdırılmışdır (Şəkil 9)<sup>8</sup>.



**Şəkil 9. Mədən multifazlı boru kəmərinin sərf xarakteristikası**  
**β = 1-0.2; 2-0.3; 3-0.4; 4-0.5; 5-0.6 olduqda**

<sup>8</sup> İsmayılova, F.B., Şahlarlı, M.E., İsmayılov, Ş.Z. Multifazlı axınlarda struktur formaları və qravitasiya itkiləri // II Beynəlxalq Elm və Mühəndislik Konfransı, – Bakı: Bakı Mühəndislik Universiteti – 26-27 Noyabr 2021 – s. 312–315.

Yuxarıdan aşağıya istiqamətlənmiş axınlarda isə təbəqələşmiş struktur forması üstünlük təşkil edir və axının potensial enerjisinin artımı qaz sütununun çəkisi ilə müəyyən edilir.

Multifazalı qarışıqın sürətinin artması ilə basqısız-sərbəst axın zonalarında təbəqələşmiş zonanın uzunluğu əvvəl azalır, sonra isə tədricən tıxaclı struktur formasına keçir. Nəticədə, sürətin çoxalması nəticəsində tədricən aşağı və yuxarı axınlarda qarışıqın sıxlıqları arasında olan fərq aradan qalxmış olur. Bu isə öz növbəsində qravitasiya itkilərinin  $\Delta p_{qr}$  azalaraq asipmtotik  $\rho_{qar} \cdot g \Delta z$  qiymətinə yaxınlaşması ilə nəticələnir.

Məlumdur ki, neft və qaz yataqlarında quyu məhsullarının yığılması, nəqli sistemlərinin layihələndirilməsi zamanı bir qayda olaraq tək neft fazası və ya yalnız qaz fazası nəzərdə tutulduğundan işlənmənin həyata keçirilməsi zamanı faktiki xərclər layihə xərclərindən əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənir.

Bir çox hallarda bu fərqlənmə axınlarda çoxfazlı olmasının nəzərə alınmaması, maye və qaz karbohidrogenlərinin boru kəməri ilə birgə nəql edilməsilə bağlı olur.

Qrafikdənən görüldüyü kimi,  $\beta$  çoxaldıqca, təzyiq itkisinin minimal qiymətinə uyğun gələn sürətin qiyməti də artır.  $\beta$  - nin kiçik qiymətlərində, hansı ki, qalxan və düşən axınlarda qarışıqın sıxlıqları arasında demək olar ki, fərq yaranmır, onda boru kəmərinə təzyiq itkisinin dəyişmə əyrisində  $\Delta p_{min}$  qiyməti mövcud olmayacaqdır.

IV fəslin yeddinci yarım bölməsində dik boruların istismarı zamanı struktur yükləri və qüvvələrin qiymətləndirilməsi və zamandan asılı olaraq struktur yükün təsiri qüvvəsi hesablanmışdır.

Şlaklı axınlarda sualtı boru kəməri - dik boru sistemlərindən keçməsi komponentlərin dizaynına əhəmiyyətli dərəcədə təsir edən struktur yüklərində zamandan asılı olaraq əhəmiyyətli dəyişikliklərə səbəb olur. Sualtı boru kəmərlərinin istismarı təcrübəsi göstərir ki, ən çox zədələnmə halları dik boru əyrilərində, daha dəqiq desək dik boruların kəmərin xətti hissəsinə birləşdiyi yerlərdə, yəni boru kəməri dənizin dibindən özülə qalxan hissədə baş verir.

IV fəslin səkkizinci yarım bölməsində dik boruların quraşdırılması texnologiyalarından bəhs edilmişdir.

Walker və Davies öz elmi işlərində dik boruların J-tipli boru vasitəsilə çəkilmə mexanikasını ətraflı izah etmişdilər. Onlar dik borunun çəkilməsinin üç mərhələsini müəyyən etmişdilər<sup>9</sup>:

1. İlkin olaraq dik boru J-tipli borunun əyri hissəsinin divarları ilə qarşılaşır və daha da irəliləmək üçün əyilmək məcburiyyətindədir.

2. Daxili dik boru öz formasını J-tipli dartma borusunun əyrisinə uyğun olaraq döngə boyunca dəyişdirir.

3. Dik boru J-tipli çəkmə borusunun düz hissəsinə daxil olduqda, onun məruz qaldığı plastik deformasiya nəticəsində yaranan qalıq əyrilik əmələ gəlir və bu dartma başlığının sonda dartma borusunun daxili tərəfi ilə təmasda olmasına səbəb olur. Sualtı boru kəməri - dik boru sistemi J-şəkilli dik borunun ağzına, yəni zıncırova daxil olduqda, çəkmə başlığı boru kəmərinin arxa hissəsindəki gərginlikdən bir qədər böyük olan bir qüvvəyə məruz qalır.

Boru kəmərinin dəniz dibinə baxan aşağı tərəfində əks gərginlik yaranır. Bu, boru çəkilişi boyunca borudüzən gəminin əks istiqamətdə hərəkəti, həmçinin dəniz dibi ilə boru arasında sürtünmə nəticəsində ortaya çıxır.

Dartma başlığındakı qüvvə, çəkmə trosunda gərginliyi yaradan özülün üzərində bərkidilmiş çəkmə bucurqadından qaynaqlanır. Sualtı boru kəməri – dik boru sistemini J-şəkilli borununun daxili ilə çəkmək üçün tələb olunan qüvvənin hesablanması enerjinin saxlanma qanunundan tapıla bilər .

Dartma zamanı müəyyən təmas nöqtələrindəki analitik yanaşma dissertasiya işində verilən 1 və 2 dəki analitik yanaşmaya analogi olaraq aparılır və oxşardır. Sualtı boru kəməri - dik boru sistemi J-şəkilli borunun əyrisinə daxil olarkən və onu tərk edərkən, J-şəkilli borunun üst tərəfində maksimum gərginliyin yaranacağını nəzərə almaq lazımdır, əks halda xarici dik borunun divarı deformasiyaya uğrayacaqdır. Çoxsaylı nəzəri və praktiki hesablamalara əsasən, dik boru və J-borusu arasındakı sürtünmə qüvvəsi, Kolumb və

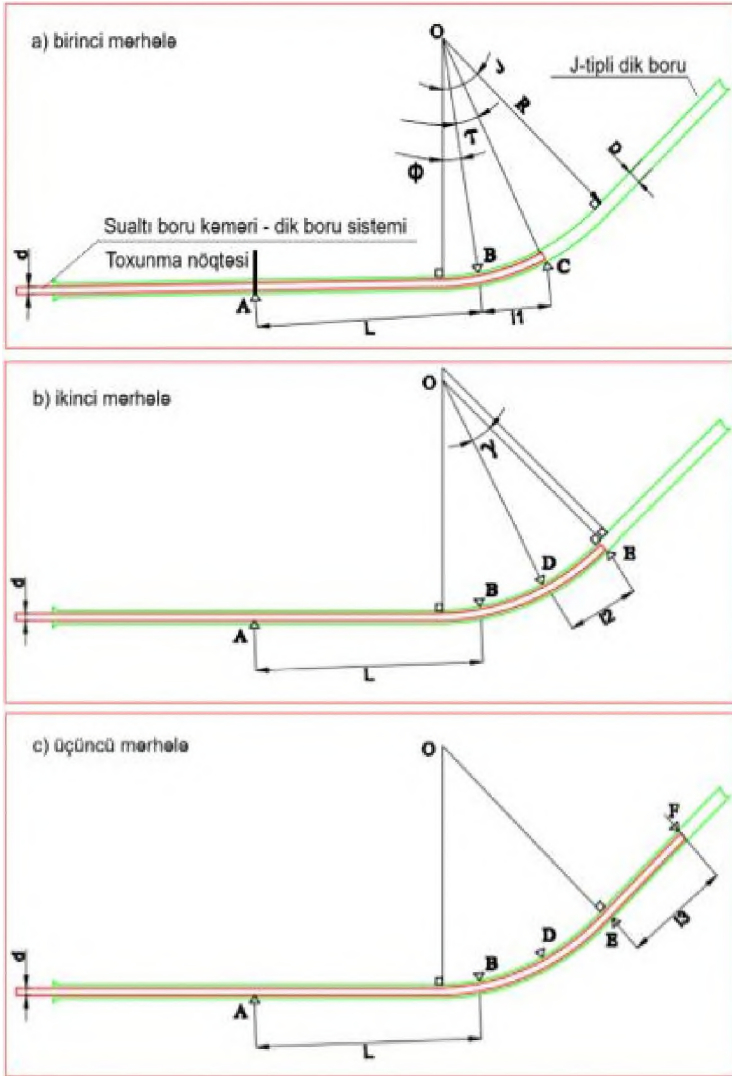
---

<sup>9</sup> Qiu W., Chang S.-H.M., Liu X., King J. "Advanced Pipeline Riser Pull-In Analysis for a Fixed Offshore Production Platform" // Offshore Technology Conference. – Houston: Texas, USA, – 4 may, – 2009, – p. 1-10.

Amontonsun sürtünmə qanunundan istifadə etməklə müəyyən edilə bilər.

J tipli boru ilə dik boruların quraşdırılması texnologiyası zamanı çəkmə mexanizminin ardıcılığı 3 addımda göstərilmiş (Şəkil 10), müəyyən nöqtələrdə təmas yüklərinin yerləri təxmin edilmiş, hər addımda Matlab proqramında modelləşdirilmə aparılmış dartma yüklərinin təmas nöqtələri arasındakı məsafədən asılılığı verilmişdir.

Hesablamalar göstərir ki, nəticələrdən asılı olaraq J-şəkilli borular üçün coğrafi məkandan və iqlimin mürəkkəbliyindən asılı olaraq ayrıca beynəlxalq standart yaradılması daha məqsədə uyğundur. Həmin borular hidrodinamik və digər yüklərə qarşı maksimum həssas olan sularda dərinliyə görə sinifləşdirilməli və daha sonra tətbiq edilməlidir.



**Şəkil 10. J-şəkilli boru vasitəsilə dik boruların dərtilməsinin ardıcılığı. a)birinci mərhələ, b) ikinci mərhələ, c) üçüncü mərhələ**

## NƏTİCƏLƏR

1. Super dərin sulara çəkiliş texnologiyaları və bu texnologiyaların müqayisəli təhlili aparılmış və müsbət və mənfəətərləri şərh edilmişdir. Quraşdırma zamanı yaranan reaksiya qüvvələri təhlil edilmiş və Matlab proqramı vasitəsi ilə simulyasiya edilmişdir [8].

2. Super dərinlikli sulara J-metodu ilə çəkiliş zamanı yeni metod işlənmiş və dib hissədə yaranan yerli bükülmələrin qarşısını almaqdan ötrü məhdudlaşdırıcılar təklif edilmişdir [2, 20, 21].

3. Ultra dərin sulara harada ki, xarici hidrostatik təzyiqliq yolveriləndən çox olur, bu halda boru kəmərinin əzilməsi və sürətlə kəmərin uzunluğu boyu yayılmasının mümkünlüyü göstərilmişdir.

4. Sualtı boru kəmərinin suyun dərinliyinin  $H=500$  m olduğu hal üçün, yolverilən möhkəmlik həddinin  $[\sigma_{bur}^{möh}]=4000$  kq/sm<sup>2</sup> olduğunu nəzərə alaraq “J” çəkiliş üsuluna uyğun boru kəmərinin gərginlik-deformasiya vəziyyətinin təhlilinə uyğun olaraq hidrostatik təzyiqdən yaranan və sıxılma gərginliklərinin uyğun olaraq  $\sigma_{hid}=-391$  kq/sm<sup>2</sup> və  $\sigma_{cəm}=-4129$  kq/sm<sup>2</sup> təşkil etdiyi üçün  $\sigma_{cəm}>[\sigma_{bur}^{möh}]$  müəyyən edilmişdir. Bu isə kəmərin divarında əyilmə baş verəcəyinin qaçılmaz olması deməkdir [20, 21].

5. Sualtı boru kəmərlərində ultura dərin sulara baş verən neft sızmaların diaqnostikası üçün suyun dərinliyi nəzərə alınmaqla yeni metod işlənmiş və Delphi proqramında simulyasiyası aparılmışdır [19].

6. Sualtı boru kəmərlərində baş verən qəza halları ilə bağlı risk amillərinin qeyri-səlis analitik üçbucaq üsuluna görə qiymətləndirilməsi üçün alqoritm işlənilib hazırlanmışdır [17].

7. Sualtı boru kəmərlərində texnoloji risklərin ekspert rəyinə əsasən qiymətləndirilməsi aparılmış və ən yüksək riskdən hansı məsafədə olduğunun təyin edilməsi üçün yeni metod işlənmişdir [7, 15, 16].

8. Sualtı boru kəmərlərində alçaq təzyiqli qazın separasiyası üçün yeni borualtı separasiya sistemi təklif olunmuşdur [3].

9. Dik boruların quraşdırılma texnologiyaları və quraşdırılma zamanı yaranan gərginlik, sürtünmə qüvvələri təhlil edilmişdir.

10. Dərin su hövzələrində sualtı boru kəmərlərinin, o cümlədən dik boruların istismar etibarlılığına təsir edən amillər təhlil edilmiş, qravitasiyalı axınlar üçün struktur rejimlər xəritəsinin və qravitasiyadan yaranan təzyiq itkilərinin sərf xarakteristikalarında nəzərə alınmasının vacibliyi göstərilmişdir [6].

11. Sualtı boru kəmərlərində qeyri-metallik borularda stabilliyin yoxlanılması üçün Matlab proqramında modelləşdirilmiş və simulyasiyaları aparılmışdır

12. Xəzər dənizində 300 m dərinlikdə dik borulara təsir edən hidrodinamik qüvvələr təhlil edilmiş və SACS proqramı vasitəsilə simulyasiyalar aparılmışdır [17].

13. Platformalar arası axın zamanı sualtı boru kəmərlərində və dik borularda multifazlı axın zamanı istismar səmərəliliyi araşdırılması aparılmış və laboratoriya sınaqlarının nəticələrinə uyğun olaraq mexaniki hissəciklərin tutulması üçün tətbiq olunan texnoloji sxemin Aspen HYSYS proqramı vasitəsilə hesablanması həyata keçirilmişdir [4, 5, 11].

**Disseratsiyanın əsas müddələri və məzmunu çap olunmuş  
aşığıdakı əsərlərdə öz əksini tapmışdır:**

1. Həsənov, F.Q., Bayramov, S.B., Şahlarlı, M.E., Əhmədzadə, F.N. Magistrəl kəmərlə qazın nəqli // – Bakı: ANT, – 2019. №5, – s. 30–32.

2. Shahlarli, M.E. "Analysis of Propagating Buckle in Deepwater Pipelines" // Ümummillı Lider Heydər Əliyevin Anadan Olmasının 98-ci İl Dönümünə Həsır Olunmuş Gənc Tədqıqatçı və Doktorantların Onlayn Elmi Konfransı, – Bakı: ADNSU, –5 may, – 2021, p. 334-338.

3. Shahlarli, M.E. To Increase the Efficiency of Low Pressure Gas Transportation in the Gunashli Energy Sector // SPE Annual Caspian Technical Conference, – Bakı: OnePetro, – 5-7 October, – 2021, – p. 1-5.

4. Исмаилов Г.Г., Мансур Ш.Э., Исмаилов Ш.З. Некоторые вопросы повышения эффективности работы многофазного потока подводных трубопроводов // Сборник тезисов докладов Международной онлайн научной конференции «Инновационные технологии в нефтегазовой отрасли: опыт внедрения и перспективы развития», – Актау: ТОО «КМГ Инжиниринг» «КазНИПИмұнайгаз», – 19 ноября, – 2021 г. – с. 21.

5. Ismayilov, G.G., Shahlarli, M.E., İsmayilov, Sh.Z. Some issues to increase the operational efficiency of multiphase flow of subsea pipelines // Materials of International Scientific-Practical Conference “Innovative Technologies in Oil and Gas Industry: Implementation Experience and Development Prospects” Innovative Technologies in Oil and Gas Industry, – Aktau: KazNIPImunaygas, – 19 november, – 2021, – p.209-219.

6. İsmayilova, F.B., Şahlarlı, M.E., İsmayilov, Ş.Z. Multifazalı axınlarda struktur formaları və qravitasiya itkiləri // II Beynəlxalq Elm və Mühəndislik Konfransı, – Bakı: Mühəndislik Universiteti, – 26-27 noyabr, – 2021, – s. 312–315.

7. Ismayilova, H.G., Farzalizada, Z.İ., Damirov, J.R., Alakbarov, Y.Z., Shahlarli, M.E. Fuzzy assessment of technological risks in the main oil pipeline // 11th World Conference “Intelligent

System for Industrial Automation” (WCIS-2020), – Tashkent: Springer Cham, – 26–28 november, – 2021, – p. 127-131.

8. İsmayilov, G.G., Şahlarlı, M.E. A Study of J-lay and S-lay Methods for Pipeline Installation in Deep Water // Materials of the VI International Scientific Research Conference, – Baku: Azərbaycan Elm Mərkəzi, Azerbaijan, – 17 december, – 2021, -p. 67-71.

9. İsmayilova, H.Q., Şahlarlı, M.E. Dəniz neft-qaz qurğularının qəza hallarından çirklənmələrin bəzi eko - iqtisadi problemləri // International Scientific and Practical Conference. The Sustainable Development of Economy and Administration: Problems and Perspectives, – Baku: Baku Engineering University, – 24-25 december – 2021, – p. 69–72.

10. İsmayilov, Ş.Z., Şahlarlı, M.E., İsmayilov, Şd.Z. Multifazalı sualtı boru kəmərlərində axın strukturları və istismar çətinlikləri // – Bakı: ANT, – 2022. № 01, – s. 32–35.

11. İsmayilov, Q.Q., Şahlarlı, M.E., İsmayilov, Ş.Z. Multifazalı sualtı boru kəmərlərinin istismar səmərəliliyinin artırılmasının bəzi məsələləri // – Bakı: Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri, – 2022. Cild 14, №2, – s.75-80.

12. Şahlarlı, M.E. "Analysis of Application of Fuzzy Analytic Hierarchy Process to Determine Risk Factor Weights in Deepwater Pipeline" // The Third International Student Research and Science Conferences Dedicated to the 99th Anniversary of the National Leader of Azerbaijan Heydar Aliyev, Baku: Baku Higher Oil School, – 18-29 april, – 2022, – p. 87-89.

13. Şahlarlı, M.E. A Study of Relationship Between Stinger and Departure Angle and Some Installation Parameters in Some Subsea Pipelay Vessels // VI International Scientific Conference of Young Researchers Dedicated to the 99th Anniversary of the National Leader of Azerbaijan Heydar Aliyev, – Baku: Baku Engineering University, – 29-30 April, – 2022, – p. 876-882.

14. Şahlarlı, M.E. Xəzər dənizində 300 m dərinlikdə dik borulara təsir edən hidrodinamik qüvvələrin tədqiqi // – Bakı: ANT, – 2022. №10, – s. 60–64.

15. İsmayilova, H.G., Şahlarlı, M.E. Fuzzy assessment of oil spills into the environment // The Fourth Eurasian Conference:

Innovations in Minimization of Natural and Technological Risks. Satellite Symposium: Technological, Environmental, and Economic Risks of the Oil and Gas Sector, – Baku: Gnedenko Forum, –11-13 october, – 2022, – p. 305-308.

16. İsmayılova, H.Q., Şahlarlı, M.E. Ətraf mühitə neft dağılmalarından yaranan texnoloji risklərin qeyri-səlis qiymətləndirilməsi // Beynəlxalq Elmi-Təcrübi Konfrans, Xəzərneftqazıyataq-2022, – Baku: NQGPK ETİ, –6-7 dekabr, – 2022, – p. 236–240.

17. İsmayılova, H.G., Şahlarlı, M.E., İsmayılova, F. Investigation of submarine pipeline failure accidents in deepwater based on the fuzzy analytical hierarchy process // 15th International Conference on Applications of Fuzzy Systems, Soft Computing and Artificial Intelligence Tools (ICAFS-2022), – Budva: Springer Cham, – 26-27 august, – 2023, – p. 391-398.

18. İsmayılova, H.G., İsmayılova, F.B., Şahlarlı, M.E. Diagnosis of the risk of oil leaks from pipelines // The Fifth Eurasian Conference dedicated to the 100th anniversary of Heydar Aliyev: Innovations in Minimization of Natural and Technological Risks, Baku: Gnedenko Forum, –17-19 october – 2023, – p. 449-455.

19. İsmayılov, Q.Q., İsmayılova, H.Q., Şahlarlı, M.E. Sualtı boru kəmərlərindən neft sızmalarının diaqnostika üsullarının işlənməsi // – Bakı: Fövqəladə Hallar Nazirliyinin Akademiyasının Elmi Xəbərləri, – 2023.№2, – s. 70–76.

20. İsmayılov, Q.Q., Şahlarlı, M.E. Super dərinliklərdə hidrostatik təzyiqdən və əyici momentdən yaranan gərginliklərin sualtı boru kəmərlərinə təsiri // – Bakı: PAHTEİ, – 2024. 36(05), № 01, – s. 437–443.

21. Nurullayev, V. Kh., İsmayılov, G.G., Şahlarlı, M.E. On Methods of Minimizing the Risks of Cavitation in Underwater Pipelines // – Kragujevac: Journal of Innovations in Business and Industry, – 2024. 02, № 04, – p. 205-210.

### **Həmmüəlliflərlə birgə işlərdə iddiaçının şəxsi fəaliyyəti:**

[2,3,12,13,14] - müəllifin sərbəst hazırladığı işlər.

[1,4,5,6,7,8,9,10,11,15,16,17,18,19,20,21] - işlərində müəllif məsələnin qoyuluşunu formalaşdırmış, həll üsulu təklif etmiş, nəticələrin doğruluğunun yoxlanılmasında iştirak etmişdir.



Dissertasiyanın müdafiəsi 06 may 2025-ci il saat 11:00-da Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.03 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ1010, Azərbaycan, Bakı şəhəri, D. Əliyeva küçəsi 227.

Dissertasiya ilə Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Avtoreferatın elektron versiyası Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 03 Aprel 2025-ci il tarixdə zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 01.04.2025

Kağızın formatı: A5

Həcm: 36830

Tiraj: 100