ماهنامه تخصصی نفت و انرژی

چشم انداز نفت

حامی ساخت داخل

۶۲

سال سیزدهم
فروردین و
اردیبهشت ۱۴۰۴
۲۵۰ هزار تومان

چگونه نرم‌افزار بومی مدیریت پروژه در کارگاه فاز ۱۴ شرکت پایندان به تکامل رسید؟

روایت توسعه فناوری بومی جریان‌سنج چند فازی ارتقای محصول برای چاه‌های High GOR

PETROYATECH

طراحی و اجرای موفقیت‌آمیز اسیدکاری انتخابی با فناوری توپک‌های انبساطی برای اولین بار در چاه افقی دو حفره‌ای میدان نفتی سپهر جفیر

مهندسی ایرانی در آستانه عصر جهانی شدن معکوس

دیوار بلند کارشناسی مانعی برای نفوذ فناوری در صنایع بالادستی نفت و گاز

الزامات حقوقی پایداری برای بازگشت ایران به بازارهای جهانی انرژی

شرکت دانش‌بنیان چشم‌انداز انرژی کیمیا

Cheshmandaz Energy Kimia Panorama Oil & Gas

کارخانه تولید مواد شیمیایی مجهز به آزمایشگاه‌های طراحی، فرمولاسیون و کنترل کیفیت با گواهینامه دانش‌بنیان سطح یک

- رویکرد نوآورانه در فرمولاسیون و بومی‌سازی افزایه‌های شیمیایی
- دارای دستگاه‌های پیشـــرفته کنترل خوردگی اسپکتروفوتومتری، سنجش ویسکوزیته HTPT اندازه‌گیری کشش سطحی (IFT)
- طراحی و تولید انواع افزایه‌های اسید کاری جهت انگیزش چاه‌های میادین چشمه خوش، سپهر جفیر، یادآوران و آزادگان جنوبی

شرکت چشـــم انداز انرژی کیمیا با تاکید بر شفافیت در برخورد با مشـــتریان و اســـتفاده از نوآوری و خلاقیت از طریق به کارگیری نخبگان دانشگاهی جهت تحقق سند چشـــم انداز توسعه و ارتقاء اهداف عالی کشور عزیزمان ایران گام نهاده است.

نشانی کارخانه: اهواز / شهرک صنعتی شماره ۲ / فاز ۲
تلفن: ۰۶۱-۳۳۷۳۹۶۵۶ تلفن تهران: ۰۲۱-۲۶۲۰۵۲۴۸
ایمیل: Info@cekco.ir

شرکت مهندسین ساخت و بهره‌وری آرمان

پیشرو در انجام پروژه‌های بالا دستی جهت رفع ناترازی انرژی

شرکت مهندسین ساخت و بهره‌وری
آرمان

ایستگاه تقویت فشار گاز هما

- افزایش فشار گاز از 50bar به 120bar
- افزایش ظرفیت بازیافت مخزن از ۴۵/۸ به ۸۲/۸
- ظرفیت تولید ۱۲ میلیون مترمکعب گاز در تابستان و ۱۵ میلیون مترمکعب در زمستان
- تولید پایدار ۲۵۰۰ بشکه میعانات در روز

احداث تسهیلات سرچاهی میدان نفتی آزادگان جنوبی

- پروژه احداث و نصب تسهیلات سرچاهی میدان نفتی آزادگان جنوبی به روش EPCC و شامل مدیریت پروژه، طراحی، مهندسی، تأمین و ساخت کالا و تجهیزات، بازرسی، انجام آزمایش‌های کارخانه‌ای و کارگاهی، حمل، نصب، تست و راه‌اندازی، رفع نواقص مطابق نقشه‌های تأیید شده برای تأسیسات و تجهیزات رو زمینی مورد نیاز ۱۵ حلقه چاه و ۸ پد مشخص شده و همچنین ۱۵ خط لوله جریانی تا نقطه گیرنده می‌باشد

دفتر اهواز: اهواز، کیانپارس، خیابان نهم غربی
فاز ۱، نبش ایدون، پلاک ۱۰۳، طبقه سوم
کدپستی: ۶۱۵۵۸-۵۳۴۹۸
تلفن: ۱۹-۳۳۹۰۰۱۱۵-۰۶۱
نمابر: ۳۳۹۰۰۱۲۰-۰۶۱

Add: No. 103, 9th west Ave
Kyanpars Area, Ahvaz, Iran
Postal Code: 61558-53498
Tel: (+98) 61-33900115-19
Fax: (+98) 61-33900120

www.arman-oil.com

شرکت مهندسین ساخت و بهره‌وری آرمان

پیشرو در انجام پروژه‌های بالا دستی جهت رفع ناترازی انرژی

شرکت مهندسین ساخت و بهره وری
آرمان

ایستگاه تقویت فشار گاز وراوی

- افزایش فشار گاز از 50bar به 105bar
- افزایش ظرفیت بازیافت مخزن از ۲۹/۷ به ۴۹/۲
- ظرفیت تولید ۷ میلیون مترمکعب گاز در تابستان و ۹ میلیون مترمکعب در زمستان
- تولید پایدار ۱۰۰۰ بشکه میعانات در روز

مرکز تفکیک تابناک

- رفع مشکلاتی همچون تشکیلات هیدرات، افت فشار بالای خطوط انتقال، افزایش عملیات توپک‌رانی و آب همراه
- تثبیت خوراک ردیف یک پالایشگاه گاز پارسیان
- افزایش کیفیت خوراک ورودی به پایین دست
- کاهش محدودیت تولید آب از مخزن
- ظرفیت تولید گاز ۳۶ میلیون مترمکعب در روز

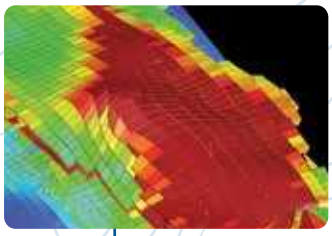
دفتر مرکزی: تهران، خیابان سهروردی شمالی
خیابان ابن یمین، نبش کوچه دوازدهم، پلاک ۲۴
کدپستی: ۱۵۵۶۷۳۴۴۵۳
تلفن: ۰۲۱-۵۲۷۶۳۰۰۰
نمابر: ۰۲۱-۵۲۷۶۳۲۲۲

Add: No.24, 12St, Ebn- e- Yamin St
N Sohrevardi AVE, Tehran, Iran
Postal Code: 1556734453
Tel: (+98) 21-52763000
Fax: (+98) 21-52763222

https://www.linkedin.comin/arman-oil-company/

NARGAN-AMITIS
Energy Development
OFFSHORE SOLUTIONS
BEYOND LIMIT
We have the Solution...
The Upstream Projects Division of Nargan Co.
www.naed.nargan.com

Inheriting legacy of PORE TO PROCESS



Subsurface Engineering:
Integrated field solutions ranging from exploration to production, including field development plan, and IOR/EOR studies.

Offshore/Onshore Pipelines:
Innovative solutions for oil and gas transportation as well as treatment from production plants to distribution points.

Surface Engineering:
We offer a wide range of services including the initial concept of feasibility studies to the provision of know-how and license, basic design, front-end and detail enginering, followed by procurement, supply services, construction supervision and management.

پادیاب تجهیز

پیمانکار برتر پروژه‌های فرازآوری مصنوعی

ارائه کلیه خدمات مهندسی، تأمین، نصب و راه‌اندازی پمپ‌های درون‌چاهی ESP، PCP و ESPCP
تأمین و ارائه خدمات پمپ‌های انتقال سیال HPS و پمپ‌های چند فازی

کارخانه پیشرفته ساخت و تعمیر پمپ های درون چاهی ESP و پمپ های انتقال نفت HPS در استان خوزستان

آدرس:تهران، ونـــک، خیابان شیخ بهایی، کوچه سلمان، پـلاک ۱ کد پستی: ۱۹۹۱۷۱۶۹۵۲
تلفن: ۸۸۶۱۵۶۱۷-۰۲۱ فکس: ۸۸۰۴۵۱۷۶-۰۲۱ info@padyab.com www.padyab.com

پایندان

PAYANDAN

نیم قرن تجربه در خدمت تولید پایدار

پایندان یکی از ۵ شرکت برتر پیمانکار عمومی کشور در اجرای پروژه‌های EPC و EPCC نفت، گاز و پتروشیمی و دارای برند معتبر در منطقه خاورمیانه

اهم طرح‌های اجرا شده توسط شرکت پایندان در ۲۰ سال گذشته

- توسعه فاز ۱۴ میدان گازی پارس جنوبی
- احداث خط لوله ۴۲ اینچ گوره - جاسک به طول ۱۶۴ کیلومتر
- احداث تلمبه‌خانه شماره ۵ خط لوله ۴۲ اینچ انتقال نفت خام گوره - جاسک
- توسعه میدان نفتی مارون ۱ و ۲
- نصب مکانیکال واحدهای ۰۴ - ۱۳ و ۳۱ طرح توسعه پالایشگاه شازند اراک
- احداث اسکله صادراتی بندر پتروشیمی پارس
- احداث کارخانه جمع‌آوری و تزریق گاز نرگسی
- احداث مخزن ۵۰۰ هزار بشکه‌ای نفت لاوان
- احداث تأسیسات سرچاهی و خط لوله انتقال تجهیزات سوخت‌رسانی نیروگاه‌های سلمان و رشادت
- احداث تأسیسات تقویت فشار گاز دوراهان
- احداث خط انتقال گاز تبریز - ارمنستان
- احداث پالایشگاه LGST فازهای ۱۵ و ۱۶ پارس جنوبی
- احداث خط انتقال گاز ۵۶ اینچ سوم سراسری حدفاصل ساوه - قزوین - لوشان
- احداث خط انتقال گاز ۵۶ اینچ ششم سراسری حدفاصل دزفول - کوهدشت
- احداث پالایشگاه گاز پارسیان فاز یک

نشانی: انتهای حکیم غرب، بزرگراه باکری شمال، ۱۰۰ متر بالاتر از اولین پل عابر پیاده، پلاک ۲

تلفن: ۰۲۱-۴۸۰۶۵۰۰۰ — سایت: payandan.co.ir

فکس: ۰۲۱-۴۸۰۶۵۶۵۰ — ایمیل: info@payandanco.ir

شرکت TOPICN تولید کننده انواع:
ریفورمرتیوب، کراکینگ تیوب، تیوب های بخش
تابشی و همرفتی، تیوب شیت ها و سایر قطعات
static casting
تولید کننده و طراح انواع :
Fired heater، انواع کوره های فرآیندی، انواع برج، مبدل
حرارتی، مشعل ها و سایر تجهیزات اساسی صنایع نفتی،
پالایشگاهی و پتروشیمی

TOPICN 托普
Top Industry

Reformer tube
Cracking tube
Presure vessel
Radiant section
convection section
Heat Exchanger
superheating furnace
Cracking furnace
Column
Methanol and Olefin Conversion Unit

Scan me!

www.topicn.com

Tel:
+8652384155566
+8618952627611
+989121168636

Add:No.20, Fuyang Road., Jingjiang City, Jiangsu Province-China
E-Mail:liuli@topicn.com

ARTIFICIAL LIFT SOLUTIONS

PETRO EDMAN

تجـربـه موفـق نصب و تحویل ۷ مجموعه تلمبه میله ای مکشی
بـا دانـش متخصصین بومـی در میادین نفتی اهواز، آبتیمور و مسـجد سـلیمان

آبتیمور ۲۳

اهـواز ٤٦١

اهـواز ٤٢٠

مسجد سلیمان ۳۳٦

اهـواز ۲۸

اهـواز ۳۸

مسجد سلیمان ۳۳۵

www.PETROEDMAN.com

شرکت فنی مهندسی پترو ادمان
مجری نصب و راه اندازی اولین مجموعه تلمبه میله ای مکشی کورس فرا بلند در کشور

- بومی سازی مجموعه تلمبه میله ای مکشی کورس فرابلند مطابق نیازمندی میدانی کشور
- عضو فهرست بلند سازندگان وزارت نفت (AVL)
- ارایه دهنده خدمات طراحی، ساخت، نصب و راه اندازی مجموعه تلمبه میله ای مکشی (SRP)

3rd Floor , No 1, First East Alley, Seoul Complex, Hashemi Rafsanjani Exp, TEHRAN, IRAN 021 88618124 Info@petroedman.com

شرکت صنعت فولاد آلیاژی اصفهان

اولین تولید کننده فولادهای آلیاژی در ایران مطابق با استانداردهای بین المللی

کیلومتر ۵۵ جاده اصفهان- مبارکه صندوق پستی: ۸۴۸۱۵/۱۴۴ مبارکه

تلفن معاونت بازاریابی، فروش و صادرات ۳۳۳۲۲۲۵۳ - ۳۳۳۲۷۶۰۰ (۰۳۱)

فاکس: ۳۳۳۲۴۳۴۵ (۰۳۱) FX تهران: ۳۳۱۳۰۷۸۰ (۰۲۱)

info@sfae.ir www.sfae.ir

نمونه محصولات تولید شده به سفارش صنایع نفت، گاز و پتروشیمی

1. Casing Head Spool
2. Gate Valve Body
3. Composite Tree Block(Y-Block)
4. Y - Tubing Spool
5. Stabilizer
6. Casing Head Housing
7. Drill Collar
8. Upper Master Block
9. Flange in625

فولادهای مصرفی در ساخت تجهیزات صنایع نفت، گاز و پتروشیمی

AISI 4130 , AISI 4140 , AISI 4145 , AISI 410

17- 4 PH - API L80 , TYPE 1

API L80-13% Cr , API L80- 9% Cr , ASTM A105

و سایر آلیاژهای مورد مصرف در این حوزه

شرکت حامی آلیاژ آسیا نماینده رسمی فولاد آلیاژی اصفهان

انرژی دانا

تنها دارنده گواهی‌نامه IPI برای لاینر هنگر سیستم

ارائه‌دهنده راهکارهای تکمیل دوگانه (DUAL COMPLETION) و تک‌مقطع (MONOBORE) متناسب با نیاز چاه‌های کشور

ارائه‌دهنده رشته‌های تکمیلی متداول (CONVERTIONAL COMPLETION) با فشار کاری ۵۰۰۰، ۷۵۰۰ و ۱۰۰۰۰ PSI

طراح و سازنده رشته‌های تکمیلی فرازآوری مصنوعی (GAS LIFT & ESP COMPLETION)

طراحی و ساخت تجهیزات BRIDGE PLUG و CEMENT RETAINER در سایزهای مختلف،
طراحی و ساخت CEMENT RETAINER با کیفیت بالا

25
ربعِ قرن
خبرگی و نوآوری
برای ایرانی آباد!

شناسنامه | Petroleum Outlook

ماهنامه چشم انداز نفت
حامی ساخت داخل

سال سیزدهم شماره ۶۲. ماهنامه فروردین و اردیبهشت ۱۴۰۴
شماره ثبت ۹۰/۲۴۶۹۷

▪ صاحب امتیاز و مدیر مسئول: قدرت اله حیدری
▪ زیرنظر شورای سردبیری
▪ اسامی نویسندگان به ترتیب حروف الفبا:
حمید رضا آقائیان، مصطفی ابراهیمی مقدم، محمد احمد زاده، افشین امامی خواه، علی پاک، شاهین پرچه خواری، پریسا حاجی محمدی، سید احمد حسینی، سید مجتبی حسینی نسب، علی جوانمردی، غلامعلی رحمانی، فرزاد رضایی قطب آبادی، مهدی روشنی، کمال زراس وند، محمد حسین زهتابچیان، علی ذرعی فروش، محسن سخایی، اشکان سلیمی، سید رائف شیخ احمدی، محمد حسین صادقی راد، مهسا عبداللهی، محمد رضا غفورالهی، شیوا سادات قاسمی، بهداد قره گوزلو، حامد قدیم، ملیکا محمد پور، حسین محبی، محمد مهدی نجفی
▪ گرافیک و صفحه‌آرایی: احسان دادرس
▪ عکس: سعید واشقانی فراهانی
▪ امور رایانه: گلچهره حیدری

▪ ماهنامه تخصصی نفت و انرژی (اطلاع رسانی- تحلیلی- علمی- آموزشی)
▪ دیدگاه‌های مطرح شده در مقالات و مصاحبه‌ها لزوما نظر ماهنامه نیست.
▪ اقتباس و استفاده از عموم مطالب مندرج در ماهنامه با ذکر منبع مجاز است.
▪ ماهنامه در انتخاب و ویرایش متون آزاد است و مسئولیت مطالب چاپ شده بر عهده نویسنده می‌باشد.

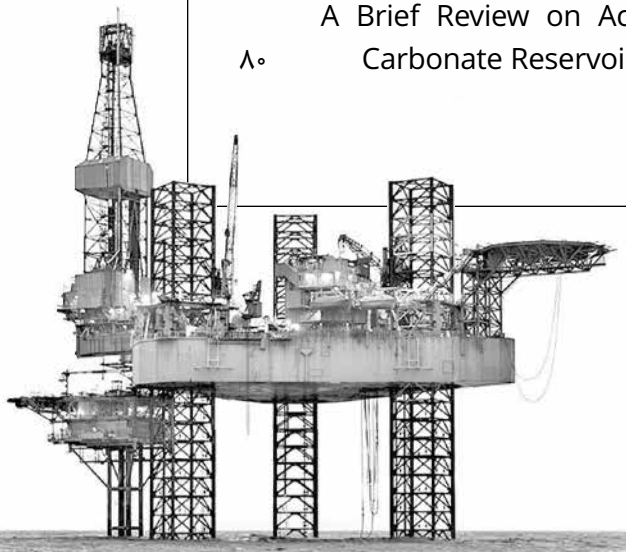
▪ نشانی: تهران، خیابان اسکندری شمالی، کوچه حمید، پلاک ۱۲، واحد۴

▪ تلفن امور آگهی و بازرگانی: ۰۹۰۱۳۴۲۱۳۷۷ ▪ تلفکس: ۶۶۴۳۴۴۶۸-۰۲۱
▪ وب‌سایت: www.chashmandaz-naft.com
▪ اینستاگرام: chashmandaz_naft

▪ چاپ: گلبرگ ▪ تلفن: ۳۸۲۰۸۹۵۸-۰۲۵

فهرست

سرمقاله	۳
الزامات حقوقی پایداری برای بازگشت ایران به بازارهای جهانی انرژی	۴
جنگ تعرفه ها فرصتی برای صنعت ایران	۶
تحول در سرمایه‌گذاری و توسعه در بخش بالادست صنعت نفت و گاز	۸
مهندسی ایرانی در آستانه عصر جهانی شدن معکوس	۱۱
دانشگاه‌های امیرکبیر و شیراز میزبان رویداد اشتراک تجربیات اسیدکاری میادین دریایی توسط شرکت انرژی دانا	۱۵
روایت توسعه فناوری بومی جریان سنج چندفازی ارتقای محصول برای چاه‌های High GOR	۱۶
مدیریت دانش، رکن کسب و کار	۲۱
چگونه یک نرم‌افزاربومی مدیریت پروژه در کارگاه فاز ۱۴ شرکت پایندان تکامل یافت؟	۲۲
« کارا» سامانه هوشمند همراه مدیران برای کنترل پروژه	۲۵
طراحی و اجرای موفقیت‌آمیز اسیدکاری انتخابی با فناوری توپک‌های انبساطی برای اولین بار در چاه افقی دو حفره‌ای میدان نفتی سپهر جفیر	۲۸
بررسی چگونگی تولید از مخازن نامتعارف (شیل‌های) نفتی و گازی در ایران	۳۵
توسعه مدل یکپارچه نگر برای رفع ناترازی انرژی	۴۰
الزام تصمیم‌گیری مدیران صنعت نفت ایران به کمک هوش مصنوعی (AI)	۴۴
بررسی نقش فناوری‌های کلیدی دیجیتال در صنعت نفت AI, IOT, Blockchain, Big Data	۴۶
تجارت جدید جهانی، دیجیتال مارکتینگ	۵۰
بکارگیری هوش مصنوعی در جهت هوشمندسازی مدیریت منابع انسانی	۵۱
فعالیتهای شناختی تعاملی؛ ابزاری نوین در توانمندسازی کارکنان و ارتقاء عملکرد سازمانی	۵۶
مدیریت هوشمند چالش‌های حوزه برق در صنایع نفت و گاز	۶۰
لاگ‌های پیشرفته تصویری چگونه به شناسایی ساختارهای زمین‌شناسی زیرسطحی کمک می‌کنند؟	۶۲
جلوگیری از ترک‌خوردگی استرس کلرید (Cl-SCC) با استفاده از پلیمرهای تقویت شده با الیاف (FRP)	۶۷
بررسی و بهینه‌سازی استراتژی‌های تزریق CO_2 برای ذخیره‌سازی بلندمدت در مخازن گاز تخلیه‌شده	۷۱
A Brief Review on Acid Fracturing and its Application in Iran Carbonate Reservoirs with Introducing an EFG Chemical Model	۸۰



دیوار بلند کارشناسی، مانعی برای نفوذ فناوری در صنایع بالادستی نفت و گاز

قدرت اله حیدری
صاحب امتیاز و مدیر مسئول

۱- تجربه استفاده از لوله‌های کامپوزیتی برای انتقال نفت، بیش از هفت سال است که در یکی از میادین نفتی شرکت مناطق جنوب وجود دارد. تجربه ای که طی این هفت سال نه هزینه نگهداشت داشته است و نه گزارشی مبنی برخوردگی و سوراخ شدن و نشت نفت که منجر به آلودگی زیست محیطی شود. علیرغم وجود این تجربه موفق که با دانش فنی کاملاً بومی، چه در مرحله طراحی و مهندسی و چه در مرحله ساخت و اجرا انجام شده است، طی چند سال گذشته یکی از موارد مورد بحث در معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری و شرکت‌های تابعه نفت، تعریف پروژه‌های ساخت بار اول برای استفاده از لوله‌های کامپوزیتی در خطوط انتقال نفت می‌باشد.

۲- تزریق آب به عنوان یکی از روش‌های نگهداشت تولید و افزایش فشار مخازن نفتی، سابقه‌ای به قدمت چندین دهه در میادین دریایی کشور دارد. این تجربه که شاید به نیم قرن هم برسد، چگونگی انتخاب چاههای تزریقی، تاسیسات سطح الارضی تزریق آب، روش های تکمیل چاههای تزریقی و حتی مشکلات عملیاتی ناشی از تزریق آب به مخازن نفتی را شامل می شود. دانش فنی حاصل از این تجارب عملیاتی به قدری عمیق است که روش هایی چون تزریق مرحله‌ای بازدارنده‌های تشکیل رسوب در مخازن نفتی نیز طی همین سالها و به موازات تزریق آب اجرایی شده و دانش فنی بومی آنها نیز مورد استفاده قرار گرفته است. علیرغم وجود این تجارب عملیاتی چند سالی است که بحث کارشناسی در مورد انتخاب یک چاه پایلوت تزریق آب در میادین خشکی جنوب کشور هنوز به جمع‌بندی عملیاتی نرسیده است.

عدم تصمیم گیری در مورد استفاده از فناوری‌هایی که تنها راه چاره برای توسعه صنعت بالادستی نفت و گاز کشور است، فقط به همین دو مورد ختم نمی‌شود. عرضه فناوری‌های جدید به این بخش که مولد صنایع پایین دستی صنعت نفت کشور نیز می‌باشد، با وجود تمامی محدودیت های بین المللی ادامه دارد. چه فناوری‌هایی که توسط شرکت‌های خارجی هنوز هم امکان ارائه به صنعت نفت وگاز کشور را دارند و چه فناوری‌هایی که حاصل دانش فنی فناوران و پژوهشگران داخلی هستند.

در مرحله تصمیم‌گیری کلان، مدیران سیاستگذار هم مشکلی با استفاده از این فناوری‌ها ندارند و بخشنامه‌های ابلاغی در سطح وزارت نفت نیز موید همین موضوع است ولی در مرحله کارشناسی و تصمیم سازی فنی برای استفاده از این فناوری‌ها، به قدری موضوع پیچیده و بغرنج می‌شود که گاهی یک فناوری برای استفاده در چاههای نفتی وگازی کشور در دیوار بلند کارشناسی و تصمیم سازی، سال‌های متمادی معطل می‌ماند.

با این وجود از زمان واگذاری توسعه میادین نفتی و گازی به شرکت‌های اکتشاف و تولید، این تصمیم‌سازی کارشناسی قدری چابک‌تر شده است و اطلاع رسانی قطره چکانی در مورد استفاده از تجهیزات با فناوری‌های جدید و نیز روش‌های نوین در عملیات حفاری، بهره برداری و تولید در پروژه‌هایی که توسط این شرکت‌ها در حال انجام است، موید این گفته است.

الزامات حقوقی پایداری برای بازگشت ایران به بازارهای جهانی انرژی

حسین محبی
مدیرموسسه حقوقی IHL

با افزایش سرعت حرکت جهان به سوی پایداری، صنعت نفت و گاز بیش از هر زمان دیگری زیر ذره‌بین قرار گرفته است. در این فضای جدید، رعایت اصول محیط زیستی، اجتماعی و حکمرانی (ESG) دیگر یک انتخاب نیست، بلکه ضرورتی برای بقا در بازارهای بین‌المللی است. در منطقه، کشورهایی مانند عربستان سعودی و عمان گام های مهمی برای هماهنگی شرکت های نفت و گاز خود با مقررات جهانی بر داشته‌اند. با این حال، ایران هنوز از این مسیر فاصله دارد؛ عمدتاً به دلیل سال‌ها دوری از مراودات تجاری و نظارتهای جهانی. این مطلب اجمالا به بررسی مهم‌ترین مقررات بین‌المللی پایداری در صنعت نفت و گاز می‌پردازد و مسیرهایی حقوقی و قانونی را برای همراستایی شرکت‌های ایرانی با این استانداردها ارائه می‌دهد.

مقررات بین‌المللی پایداری در صنعت نفت و گاز

چارچوب های جهانی متعددی که بر صنایع و بالاخص صنایع نفت و گاز تأثیرگذار هستند وجود دارد از جمله CSRD که از شرکت‌های بزرگ فعال در اروپا یا شرکای تجاری آنها، گزارش پایداری دقیق با تمرکز بر ارزیابی‌های موشکافانه می‌خواهد؛ CBAM که مالیات کربنی بر واردات کالاهای پرانتشار وضع می‌کند و برای صادرکنندگان غیر همسو تهدید محسوب می‌شود؛ SFDR که نهادهای مالی اروپا را ملزم به افشای ریسک‌های پایداری کرده و به طور غیرمستقیم به شرکت‌های خارج از اروپا نیز فشار وارد می آورد؛ IMO ۲۰۲۰ که انتشار گوگرد در حمل‌ونقل دریایی را محدود کرده و بر لجستیک صادرات اثر دارد؛ و توافق پاریس که چارچوبی جهانی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای ایجاد کرده است.

در نمودار زیر می‌توان به اختصار دید که تأثیربرخی از این مقررات بر شرکت‌های اروپایی و غیراروپایی (مانند آرامکو یا SABIC) به چه میزان است و چرا حتی شرکت‌های غیراروپایی نیز مجبور به رعایت آن‌ها هستند.

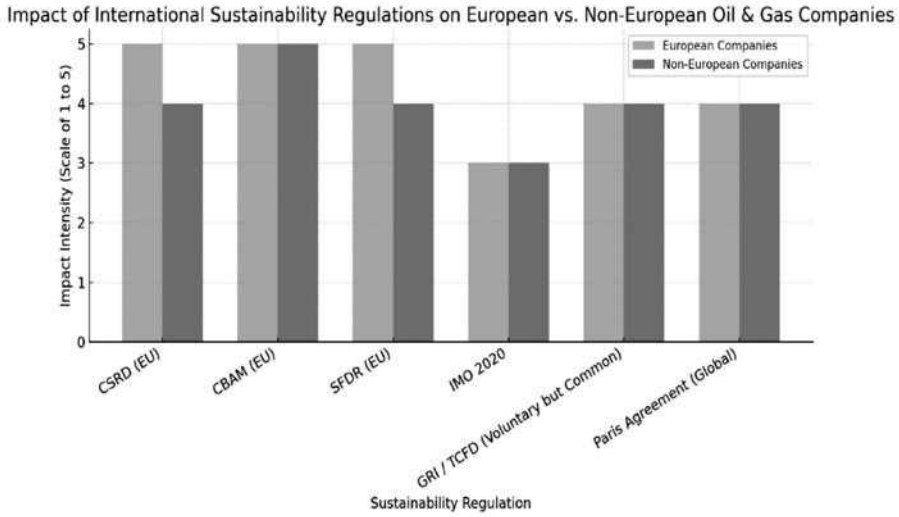
Regulation	Impact on European Companies	Impact on Non-European Companies (e.g., Aramco, SABIC)	Explanation
CSRD (EU)	5	4	Mandatory sustainability reporting for all large EU companies; non-EU firms with EU operations must also comply.
CBAM (EU)	5	5	Carbon tax at EU borders for high-emission imports (steel, aluminium, petrochemicals); affects exporters directly.
SFDR (EU)	5	4	Applies to EU financial markets; indirectly pressures global companies to provide ESG disclosures to attract EU investors.
IMO 2020	3	3	Maritime regulation limiting sulphur in shipping fuel; affects export logistics for both EU and non-EU producers.
GRI / TCFD (Voluntary but Common)	4	4	Leading global frameworks for sustainability reporting; widely adopted for credibility and investor trust.
Paris Agreement (Global)	4	4	Global climate pact pushing national policies to reduce emissions; companies respond based on local regulations.

تجربه شرکت‌های منطقه‌ای در پیروی از استانداردها

شرکت SABIC در عربستان سعودی بطور گسترده‌ای سیاست‌های ESG را در ساختار خود نهادینه کرده است. این شرکت اهداف کاهش انتشار گازهای گلخانه ای را مطابق با توافق پاریس تعیین کرده و گزارش های خود را بر اساس استاندارد GRI منتشر می‌کند و از سیستم‌های مدیریت شیمیایی ایمن بهره می‌برد. با وجود چالش‌هایی مانند نشت مواد شیمیایی، SABIC همچنان یکی از بازیگران مورد توجه سرمایه گذاران بین المللی به شمار می‌رود. در مورد شرکت آرامکو نیز باید گفت که این شرکت هدف دستیابی به خالص صفر انتشار گازهای Scope ۱ و ۲ را تا سال ۲۰۵۰ اعلام کرده و پروژه‌های متعددی در زمینه جذب کربن، از جمله ساخت واحد جذب مستقیم از هوا (DAC)، در دست اجرا دارد. با وجود انتقاداتی درباره عدم اقدام جدی در زمینه انتشارهای Scope ۳ ، آرامکو در سطح حاکمیتی و شفافیت اطلاعاتی، الگوی منطقه‌ای محسوب می‌شود. در عمان، شرکت‌هایی مانند OQ و OOMCO نیز با انتشار گزارش‌های سالانه پایداری و اجرای پروژه‌های مجیط زیستی، در مسیر تطبیق با مقررات جهانی گام برداشته‌اند. شرکت Oman LNG نیز با فعالیت‌های مسئولانه‌اش مورد تقدیر بین‌المللی قرار گرفته است.

چرا شرکت‌ها به پایداری روی می‌آورند؟

پایبندی به پایداری نه تنها از منظر قانونی، بلکه به دلایل اقتصادی، رقابتی و راهبردی نیز سودمند است. شرکت‌هایی که عملکرد



ESG قوی دارند، می‌توانند ارزان تر و آسان تر از بانک‌ها و صندوق‌های سرمایه‌گذاری خدمات مالی و سرمایه ای دریافت کنند، چرا که سرمایه‌گذاران به دنبال ریسک پایین و پایداری بلندمدت هستند. از سوی دیگر، شرکت‌هایی که الزامات اتحادیه اروپا را رعایت می‌کنند، دسترسی خود به بازارهای صادراتی را حفظ کرده و از پرداخت مالیات کربن معاف می‌شوند. همچنین شفافیت در گزارش‌دهی و پایبندی به اصول ESG باعث افزایش اعتماد عمومی، رضایت مشتریان و ارتقای وجهه برند می‌شود.همچنین، اجرای راهکارهای بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش ضایعات نیز منجر به کاهش چشمگیر هزینه‌های عملیاتی می‌شود. این تغییرات نه تنها بازدهی اقتصادی شرکت‌ها را افزایش می‌دهد، بلکه آمادگی آن‌ها را در برابر سخت‌گیری‌های مقرراتی محتمل در آینده نیز بیشتر می‌کند.

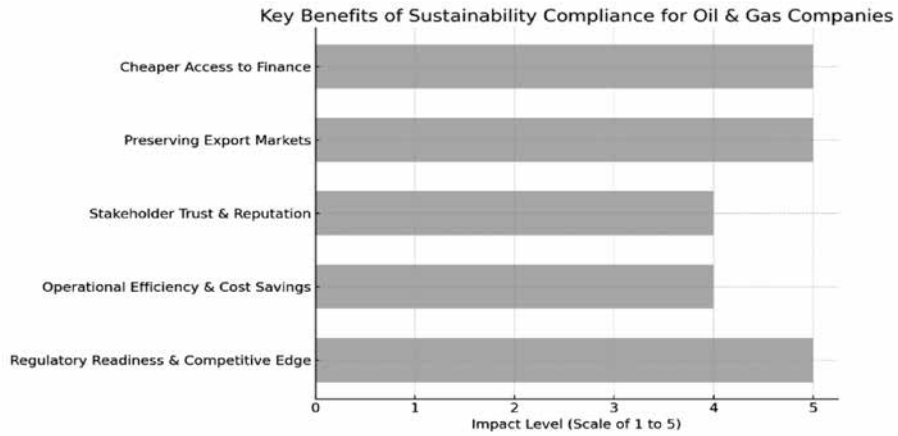
گامسیر بازگشت ایران به بازار جهانی

اگر ایران بخواهد پس از سال‌ها دوباره وارد بازار جهانی انرژی شود، نمی‌تواند تنها به تولید و صادرات تکیه کند. برای ورود دوباره، صنعت نفت و گاز، در کشور باید بازسازی ساختاری در حوزه ESG انجام شود. در گام نخست، شرکت‌های ایرانی باید ساختارهای مدیریتی خود را با اصول پایداری همراستا کنند؛ از جمله ایجاد کمیته‌های ESG در سطح هیئت مدیره، تدوین گزارش‌های شفاف و مستمر بر اساسو GRI و/ یا TCFD، اندازه گیری و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، آموزش نیروی انسانی در زمینه محیط زیست و ارزیابی ریسک‌های اقلیمی. در سطح بین‌المللی نیز ضروری است که ایران رسماً به اهداف توافق پاریس بپیوندد، سازوکار CBAM را درک کرده و برای محاسبه و گزارش اثرات کربنی محصولات صادراتی خود آماده شود. رعایت الزامات استانداردهای جهانی از جمله الزامات زیست‌محیطی، ایمنی شغلی و حکمرانی مانند ISO ۱۴۰۰۱ و ISO ۴۵۰۰۱، و ISO ۳۷۰۰۰ و پیوستن به ابتکارات جهانی مانند UN Global Compact و همراستایی با استانداردهای شرکت مالی بین المللی وابسته به بانک جهانی (IFC) برای جذب سرمایه گذاری خارجی از جمله گام های حیاتی هستند. این اقدامات نه تنها الزامات قانونی را برآورده می‌کنند، بلکه فرصتی برای بازسازی وجهه بین‌المللی و دستیابی به پایداری بلند مدت در بازار رقابتی امروز هستند.

رعایت الزامات پایداری بین‌المللی، به ویژه در صنعت نفت و گاز، تنها یک الزام اخلاقی یا محیط زیستی نیست، بلکه ابعاد حقوقی و قراردادی بسیار مهمی دارد. در بسیاری از قراردادهای بین‌المللی نفت و گاز، پایبندی به اصول ESG به‌عنوان پیش شرط الزام‌آور گنجانده می‌شود. به‌عنوان مثال، شرکت‌های اروپایی در انعقاد قراردادهای خرید بلندمدت گاز، تعهدات زیست‌محیطی صادرکنندگان را در قالب بندهای قانونی (مثل clauses on emission disclosure, carbon footprint (targets, ESG reporting obligations درج می‌کنند.

از منظر حقوقی، عدم تطابق با این الزامات می‌تواند منجر به فسخ قرارداد، جریمه، یا عدم تمدید شود. حتی در برخی موارد، تأمین مالی پروژه‌ها توسط بانک‌های بین‌المللی نیز منوط به رعایت استانداردهایی چون IFC Performance Standards است. از منظر فنی، رعایت این تعهدات به معنی ایجاد سازوکارهای پایش انتشار، ثبت داده‌های محیط زیستی، گزارش گیری منظم، و استفاده از فناوری‌های پاک (Clean Tech) است. بنابراین، تبعیت از این الزامات نه تنها بر وجهه شرکت‌ها بلکه بر امکان قرارداد بستن و باقی ماندن در بازار جهانی اثر مستقیم دارد. در سطح فنی، این الزامات در قالب پیوست های قراردادی ظاهر می‌شوند که شامل حدود مجاز انتشار آلاینده‌ها، الزامات استفاده از فناوری های پاک و چارچوب های گزارش دهی دقیق هستند.

با توجه به موارد فوق بدیهی است که بازگشت شرکت ها و موسسات ایرانی به بازارهای جهانی نیازمند اقداماتی از قبیل عادی‌سازی روابط دیپلماتیک، بلوغ در حوزه‌های محیط زیستی و حکمرانی سازمانی و از همه مهمتر مطابقت با مقررات و رویه های بین المللی است. چراکه مقررات مرتبط به این زمینه، جنبه الزام آور پیدا کرده و عدم رعایت آنها عواقب حقوقی خواهد داشت. اگرچه این تطابق در نگاه اول ساده به نظر می آید. اما نیازمند آشنایی و مهارت در مطالعه، تطابق، بازنویسی و اعمال آنهاست. تفسیر و اجرای توافقات، قوانین و مقررات بین المللی نیز تنها در تخصص حقوقدانان است و برداشت و پیاده سازی اشتباه آنها می تواند عواقب جبران ناپذیر و بلند مدتی داشته باشد. همچنین ارزیابی موشکافانه که پیشتر از آن صحبت شد و بازبینی گزارش‌های پایداری مسائلی هستند که مستلزم دانش فنی و حقوقی می باشند.



جنگ تعرفه ها
فرصتی برای صنعت ایران

دکتر محمدحسین زهتابچیان
مدیر عامل شرکت راک شیمی

پس از رونمایی از گوشی‌های هوشمند شرکت اپل توسط استیو جابز در سال ۲۰۰۷، آخرین المان انقلاب چهارم صنعتی تکمیل شد، و امواج آن از آمریکا و اروپا شروع و خیلی سریع به تمام جهان گسترش پیدا کرد. گوشی‌های هوشمند حلقه مفقوده این انقلاب بود که میرفت تا همه امور را شخصی کند. در ابتدا کسی گمان نمی کرد که این تغییرات، طلیعه عصر جدیدی از تکنولوژی و روابط انسانی اجتماعی خواهد بود. و این انقلاب مرزهای میان دنیای فیزیکی، دیجیتال و زیستی را کمرنگ خواهد کرد.

نوح هراری در داووس ۲۰۲۰ به توسعه تکنولوژی های نوظهور به عنوان یکی از سه خطر قرن بیست و یکم اشاره کرد و شاید

خیلی‌ها متوجه منظور او نشدند و ترجیح دادند که به مشکلات ناشی از سلاح‌های هسته‌ای و تغییرات اقلیمی بیشتر توجه کنند، تا تکنولوژی‌های جدیدی که مکمل هم بودند و با سرعت سرسام آوری همدیگر را پشتیبانی می‌نمودند. در ابتدا، صحبت از ۱۴ عاملی بود که انقلاب چهارم صنعتی را تشکیل می‌دادند، اینترنت اشیاء، پرینتر سه بعدی، بایو و نانو تکنولوژی، G۵، پهپاد، هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، بلاک چین، ربات‌ها، واقعیت مجازی و افزوده (VR/AR) رایانه ابری و لبه ای (Cloud & edge computing) خودروهای خودران و عامل چهاردهم که این انقلاب را شخصی‌سازی می‌کند، که همان گوشی هوشمند بود ولی هیچکس گمان نمی‌کرد که این عوامل ظرف مدت ۱۵ سال و پس از (open source) کردن هوش مصنوعی توسط شرکت openAI و رقابت نفس‌گیر شرکت‌های تکنولوژی محور مانند گوگل،متا و مایکروسافت بزرگترین چالش را ایجاد کند. غول چراغ جادو، آزاد شده بود و دیگر کسی نمی‌توانست زمان را به عقب برگرداند.

شرکت‌های ایرانی باید این انقلاب را در تمامی شئون جدی بگیرند و خودشان را برای ۱۰ سال آینده ای آماده کنند که دیگر جهان عوض شده، سیستم های هوشمند و حتی ربات ها جای کارمندان و مدیران را گرفته اند. وزارتخانه ها، بانک ها و شرکت های خدماتی بزرگ تبدیل به SBU (واحدهای کوچک بازرگانی و فیزیکی) شده اند که با تعداد کمی از کارمندان متخصص اداره می‌شوند. هر دولتی که تا ۱۰ سال دیگر سرکار باشد مجبور خواهد بود که خودش را با شرایط روز جهان منطبق نموده و حداقل بودجه را برای اداره خودش منظور نماید. همزمان جنگ تجاری آمریکا و چین که اکنون به جنگ تعرفه‌ها معروف شده، بیش از پیش جهان را از یکپارچگی و گلوبالیسم دور کرده و شاید به زودی جهان را به چند قطب اقتصادی تقسیم کند و خود اتکایی و چه بسا خود کفایی یکی از اهداف جهان جدید شود!! و مجدداً کشورهایی که از چرخه پیشرفت و توسعه بازمانده‌اند. و همچنان در باتلاق صادرات مواد خام گیر افتاده‌اند هدف قراردادهای استعماری کشورهای پیشرفته ای مانند چین، هند، آمریکا و اروپا قرار بگیرند.

متاسفانه ایران امروز ما، یکی از همان کشورهایی است که علیرغم داشتن فرصت تاریخی ۴۰ ساله و منابع طبیعی، نه تنها نتوانسته جزو ۲۰ اقتصاد اول جهان از نظر سطح تکنولوژی، تولید و صادرات کالاهای صنعتی و خدمات قرار بگیرد، بلکه حتی در منطقه خاورمیانه هم جزو اولین‌ها نیست.

نفت و نفرین منابع :

در سال ۱۹۷۳ که اوج قیمت نفت بود، آقای پرز آلفونسو وزیر نفت ونزوئلا از بنیانگذاران OPEC، نفت را مدفوع شیطان نامید و از گران شدن آن ابراز نگرانی کرد. بعدتر هم صاحب نظران دیگری از وابستگی کشورها به صادرات مواد اولیه تجدید ناپذیرشان به‌عنوان نفرین منابع[1](Paradox Planty) یاد کرده بودند، که نه تنها کمکی به آن کشورها نمی‌کند بلکه نسل‌های آینده را به فقر کشانیده و میراث ارزشمندی برای آنان باقی نمی‌گذارد. اکنون که جنگ تعرفه‌ها شروع شده و آن را نه به عنوان یک طرح دیوانه وار از طرف ترامپ بلکه باید استراتژی کلان آمریکا به حساب آورد، فرصت‌ها و تهدیدهای زیادی با خود به همراه آورده است.

اقتصاد آمریکا دارای بزرگترین حجم در جهان است میزان کل واردات و صادراتش در سال‌های ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ به ترتیب ۷ و ۶.۸ تریلیون دلار بوده است. که کسری تجاری آن در طی این دوسال به ترتیب ۹۵۱ و ۷۷۳ میلیارد دلار می‌باشد. بخش اعظمی از واردات این کشور از چین بوده که قابل مقایسه با سهم صادرات آمریکا به آن کشور نمی‌باشد. از زمانی که صحبت از تعرفه ۳۴ درصدی برای کالاهای چینی شده است و قبل از اینکه اجرایی شود بسیاری از شرکت‌های کوچک چینی به سمت کاهش پرسنل، فروش کارخانه و ورشکستگی پیش رفته اند. اعلام افزایش این تعرفه از ۳۴ به ۱۴۵ درصد، کار

را از این هم بدتر کرده است و چین را در یک موضع کاملا انفعالی قرار داده، به نحوی که رهبر چین بدون هیچگونه تفکری اعلام عمل متقابل نموده است و این به معنی شلیک به پای خویش است. ترامپ با گذاشتن تعرفه روی کالاهای تولیدی ۷۰ کشور دیگر (که البته این طرح را سه ماه به تعویق انداخته و چه بسا اگر این کار را نمی‌کرد جهان تکلیفش را بهتر می‌دانست) فرصت های زیادی را برای کشورهایی مثل ایران که سهم قابل توجهی در اقتصاد جهانی نداشته‌اند، به وجود آورده است. که اگر تصمیم خردمندانه‌ای در این برهه از تاریخ برای طرح یک استراتژی بلند مدت گرفته نشود ممکن است ایران همچنان در باتلاق حراج منابع و مواد اولیه باقی مانده و این فرصت تاریخی را برای همیشه از دست بدهد.

فرصت‌های به وجود آمده، این امکان را به ایران می‌دهد که به جای واردات مواد اولیه از چین، کارخانجات تولیدی، دست دوم و کارکرده آنها را با قیمت‌های بسیار پایینی بخرد و به جای صادرات نفت و گاز، محصولات صنعتی را به کشورهایی که قبلاً از چین خرید می‌کردند، صادر نماید. طی پنج تا ده سال، بخش خصوصی و مستقل ایران می‌تواند با خرید کارخانجات چینی و اروپایی به قطب صنعت منطقه تبدیل شده و حداقل به میزان واردات کالاهای صنعتی، آن را در داخل تولید و مازاد آن را نیز صادر نماید. هرچند امیدی به تصمیمات دولت نیست ولی دولت می‌تواند با تسهیل قوانین امکان خرید و واردات خطوط تولیدی مستعمل و دست دوم با قیمت مناسب را فراهم و آنها را در اختیار کارآفرینان و مردم قرار دهد.

از آنجایی که اداره استاندارد تنها به کالاها و کارخانجاتی اجازه ورود می‌دهد که بااستانداردهای داخلی و یا جهانی مطابقت داشته باشد، باید از خود انعطاف نشان داده مانند بسیاری از کشورهای پیشرفته و یا در حال توسعه، این سد را از جلوی بخش خصوصی و کارآفرینان بردارد تا پول نفت، به بهترین وجه ممکن مورد استفاده قرار بگیرد. دولت فقط باید قوانین مدرنی را به تصویب برساند که با تغییرات جهان طی ۲۰ سال اخیر همخوانی داشته باشد. و زمینه‌های رانت جویی را با قطع تخصیص وام های ارزی و ریالی و یا حمایت های ویژه از گروه های خاص از میان بردارد.

۱.این اصطلاح برای اولین بار توسط ریچارد آتیه اقتصاددان در ۲۰ سال بعد مطرح گردید، که تنها به عنوان منابع یاد کرده بودند.

راهکارهای تحول در سرمایه‌گذاری و توسعه در بخش بالادست صنعت نفت و گاز

محمدرضا غفورالهی
پژوهشگر مستقل حوزه نفت و گاز

چکیده
صنعت بالادستی نفت و گاز به عنوان نقطه آغاز زنجیره تامین انرژی، نقش حیاتی در تامین امنیت انرژی، رشد اقتصادی و درآمد زایی ملی کشورها ایفا می کند. در شرایط کنونی این بخش با پیچیدگی های فزاینده ای ناشی از نوسانات بازار جهانی انرژی، چالش های ژئوپلتیکی، الزامات زیست محیطی، محدودیت های سرمایه گذاری و فناوری و همچنین فشارهای ناشی از گذار انرژی به سوی منابع تجدید پذیر مواجه شده است. در چنین بستری کشورهایی مانند ایران که به منابع هیدروکربوری اتکا دارند، ناگزیر به بازتعریف رویکردهای خود در زمینه جذب سرمایه، انتقال فناوری، بهینه سازی قراردادهای نفتی و ارتقای بهره روی عملیاتی هستند. این مقاله با رویکرد تحلیلی و سیاست محور به بررسی جامع الزامات تحول آفرین در بخش بالادستی نفت و گاز می پردازد. در این راستا چالش های ساختاری و نهادی در جذب سرمایه، فقدان زیر ساخت های فناورانه، ریسک های حقوقی و مالی همچنین ضعف بهره گیری از ظرفیت های بین المللی مورد واکاوی قرار گرفته است. در ادامه الزامات توسعه فناورانه نظیر استفاده از هوش مصنوعی، اینترنت اشیا، حفاری هوشمند و ازیاد برداشت به عنوان عوامل کلیدی در ارتقای بهره وری و مدیریت بهینه منابع برجسته شده اند. نقش مشارکت راهبردی بین المللی در تسهیل انتقال دانش، تامین مالی پروژه‌ها و افزایش شفافیت عملیاتی مورد بررسی قرار گرفته و راهکارهایی برای ارتقای همکاری های فناورانه و اقتصادی با شرکت های پیشروی جهانی ارایه شده است. تحقق تحول در بخش بالادستی نفت و گاز مستلزم تلفیق سیاست های هوشمند، سرمایه گذاری هدفمند، به کارگیری فناوری های نوین و تقویت زیر ساخت های نهادی و حقوقی کشور است. این تحول می تواند منجر به افزایش تاب آوری صنعت در برابر بحران های آینده و تقویت جایگاه آن در بازارهای انرژی گردد.

۱. مقدمه

صنعت نفت و گاز، به ویژه در بخش بالادست از اهمیت راهبردی در اقتصاد انرژی جهانی برخوردار است و به عنوان شالوده تامین انرژی اولیه نقش بی بدیل در پایداری عرضه رشد اقتصادی و امنیت انرژی ایفا می کند. فعالیت های بالادستی که شامل اکتشاف ارزیابی توسعه و بهره برداری از منابع هیدروکربوری می شود به طور مستقیم با فناوری‌های پیچیده سرمایه‌گذاری‌های کلان و زمان بندی‌های بلند مدت گره خورده است. در دهه های اخیر با تحول در ساختار بازار انرژی ظهور بازیگران جدید پیشرفت های فناورانه در تولید از منابع غیر عرف و تشدید نگرانی های زیست محیطی الزامات فعالیت در این بخش نیز به طور اساسی دگرگون شده است. در ایران برخورداری از منابع غنی نفت و گاز موقعیت ژئوپلتیکی ممتاز و تجربه تاریخی در بهره برداری از میادین عظیم ظرفیت بالقوه قابل توجهی برای توسعه بخش بالاست فراهم آورده است. با این حال تداوم تحریم های بین المللی فقدان چارچوب های قراردادی به روز و رقابت‌پذیر عدم دسترسی به فناوری های پیشرفته و تامین مالی پایدار این ظرفیت را با موانع جدی مواجه ساخته است. در چنین شرایطی نیاز به یک بازنگری عمیق در سیاست های سرمایه گذاری ساختار حقوقی الگوهای توسعه فناورانه و روش های بهره برداری بیش از پیش احساس می شود. سرمایه گذاری در بخش بالادست صنعت نفت و گاز تنها تابع شاخص‌های فنی و اقتصادی نیست بلکه به شدت تحت تاثیر سیاست‌ها و تصمیم‌گیری‌های کلان قرار دارد. در دهه‌های اخیر بسیاری از کشور ها با بازنگری در سیاست‌های انرژی و چارچوب قانونی توانسته اند جذابیت بازار خود را برای سرمایه گذاران داخلی و خارجی افزایش دهند. در مقابل کشورهایی که فاقد راهبرد سیاست محور شفاف و پایدار بوده اند با افت شدید سرمایه‌گذاری و مهاجرت سرمایه‌گذاران مواجه شده‌اند. سرمایه‌گذاری در بخش بالادست نیازمند یک محیط با سیاست‌های با ثبات قابل پیش‌بینی و شفاف است. نبود راهبرد انرژی ملی یا تغییرات مکرر در قوانین و مقررات موجب کاهش اعتماد سرمایه‌گذاران می‌شود. بر اساس گزارش IEF۲۰۲۱ کشورهایی که دارای سند جامع سیاست انرژی بوده‌اند به طور میانگین ۲/۵ برابر بیش از سایر کشورها سرمایه جذب کرده‌اند لذا تدوین راهبرد ملی انرژی (National Energy Strategy) که بیانگر چشم‌انداز و اهداف بلند مدت در توسعه میادین نفتی از جمله میزان تولید، صادرات و نوع مشارکت با شرکت های خارجی از الزامات سیاست گذاری در این حوزه است ضروری است. سیاست گذار باید با در نظر گرفتن رقابت منطقه ای مدل هایی طراحی نماید که هم منافع ملی را حفظ نماید و هم جذابیت لازم برای سرمایه گذاری را داشته باشد. برای نمونه عراق پس از بازنگری در مدل های قراردادی خود موفق به جذب بیشتر از ۱۰۰ میلیارد دلار سرمایه گذاری در دهه گذشته شده است. تقویت نهادهای تنظیم‌گر (Requlatory Authoriries) برای تنظیم مقررات، حل اختلاف ها و نظارت بر اجرای قراردادها نقش اساسی در اعتمادسازی برای سرمایه‌گذاران ایفا می کنند. ایجاد انگیزه‌های مالیاتی، تخفیف در تعرفه واردات تجهیزات و ارایه تضامین بازگشت سرمایه از جمله ابزارهای سیاست‌گذاری برای تشویق مشارکت بخش خصوصی است.

۲. چالش‌های سرمایه‌گذاری در بالادست

سرمایه‌گذاری در پروژه‌های بالادستی به دلیل ماهیت بلندمدت، ریسک‌های فنی و اقتصادی بالا، و نیاز به سرمایه‌گذاری سنگین اولیه، همواره پیچیده و حساس بوده است. در ایران، این چالش‌ها با محدودیت‌های ناشی از تحریم‌های اقتصادی، نبود شفافیت حقوقی در قراردادها، نوسانات نرخ ارز، و کمبود ابزارهای مالی مناسب، تشدید شده‌اند. در ادامه به مهم‌ترین چالش‌ها اشاره می‌شود:

• ریسک‌های سیاسی و حقوقی: نبود ثبات در قوانین، تغییرات مکرر در ساختار مدیریتی و سیاست‌های کلان انرژی، باعث می‌شود سرمایه‌گذاران اعتماد لازم برای ورود به پروژه‌های بلندمدت را نداشته باشند.

• محدودیت در دسترسی به سرمایه بین‌المللی: تحریم‌ها و محدودیت‌های بانکی بین‌المللی، امکان استفاده از خطوط اعتباری، تأمین مالی خارجی، و همکاری با بانک‌های بزرگ را برای ایران دشوار ساخته است.

• مشکلات ساختاری در قراردادهای نفتی: بسیاری از مدل‌های قراردادی موجود، جذابیت لازم برای سرمایه‌گذاران خارجی را ندارند و ریسک‌های زیادی را به طرف سرمایه‌گذار منتقل می‌کنند. به‌روزرسانی مدل‌های قراردادی و تطبیق آن‌ها با استانداردهای بین‌المللی ضروری است.

• کمبود فناوری‌های پیشرفته و دانش فنی: سرمایه‌گذاری مؤثر در میادین پیچیده یا کم‌بازده نیازمند فناوری‌های پیشرفته و نیروهای متخصص است. نبود زیرساخت لازم برای انتقال فناوری و آموزش نیروی انسانی، مانعی مهم در مسیر توسعه سرمایه‌گذاری است.

• ناتوانی در مدیریت ریسک اقتصادی: نوسانات قیمت نفت، تغییرات نرخ ارز و نبود ابزارهای پوشش‌دهی ریسک مانند بازارهای آتی یا صندوق‌های پوشش ریسک، سرمایه‌گذاران را با نگرانی‌های جدی مواجه می‌سازد.

۳. الزامات توسعه فناورانه میادین

افزایش بهره‌وری در استخراج منابع هیدروکربنی نیازمند استفاده از فناوری‌های نوین مانند حفاری جهت‌دار، مدل‌سازی پیشرفته مخازن، سیستم‌های نظارت هوشمند، و بهره‌برداری مبتنی بر داده‌های لحظه‌ای است. استفاده از فناوری‌های مرتبط با اینترنت اشیا (IoT)، هوش مصنوعی (AI)، و تجزیه و تحلیل کلان‌داده‌ها (Big Data Analytics) به شرکت‌های بهره‌بردار این امکان را می‌دهد تا وضعیت مخازن را به‌صورت پیوسته پایش کرده و تصمیم‌گیری‌های دقیق‌تری در خصوص تولید و نگهداری اتخاذ کنند.

همچنین، توجه به روش‌های برداشت صیانتی و ازدیاد برداشت(EOR) به‌عنوان ابزارهای کلیدی برای بهینه‌سازی تولید، باید در دستور کار شرکت‌های بهره‌بردار قرار گیرد. روش‌هایی نظیر تزریق گاز، تزریق بخار، یا استفاده از مواد شیمیایی می‌تواند میزان بازیافت نفت را در میادین قدیمی به‌طور قابل‌توجهی افزایش دهد. توسعه فناوری‌های برداشت نفت از منابع نامتعارف نیز نقش مهمی در گسترش افق‌های تولید دارد.

از سوی دیگر، انتقال دانش فنی و تجربیات بین‌المللی در قالب پروژه‌های مشترک یا همکاری با مراکز تحقیقاتی جهانی، می‌تواند به تسریع فرآیند نوآوری و بهبود مستمر فناوری کمک کند. سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه(R&D) و حمایت از شرکت‌های دانش‌بنیان داخلی نیز باید در اولویت سیاست‌های فناورانه وزارت نفت قرار گیرد. ایجاد صندوق‌های سرمایه‌گذاری خطرپذیر (Venture Capital) برای تأمین مالی پروژه‌های فناورانه نوپا، یک ضرورت اساسی برای توسعه پایدار این بخش است.

۴. نقش مشارکت‌های بین‌المللی

با توجه به پیچیدگی‌های فنی پروژه‌های بالادستی، انتقال دانش فنی از طریق مشارکت با شرکت‌های بین‌المللی، یکی از راهکارهای مؤثر در ارتقاء توان داخلی است. تجربه کشورهای نفت‌خیز نشان داده که مشارکت‌های راهبردی و انتقال فناوری، زمینه‌ساز افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌های تولید می‌شود. توسعه دیپلماسی انرژی، اصلاح ساختار حقوقی قراردادها و تضمین امنیت حقوقی سرمایه‌گذاران خارجی، از جمله پیش‌نیازهای کلیدی برای تحقق این هدف است.

مشارکت‌های بین‌المللی نه‌تنها در انتقال فناوری و دانش فنی نقش‌آفرین هستند، بلکه می‌توانند از منظر تأمین مالی، دسترسی به

بازارهای صادراتی، و مدیریت ریسک نیز مزایای قابل توجهی به همراه داشته باشند. در بسیاری از کشورها، شرکت‌های بزرگ نفتی جهان با ایجاد کنسرسیوم‌های فنی و مالی، به‌عنوان شرکای استراتژیک در پروژه‌های بالادستی حضور یافته و با سرمایه‌گذاری مشترک، ریسک پروژه‌ها را کاهش داده‌اند. در ایران نیز بهره‌گیری از چنین الگوهایی می‌تواند در کاهش بار مالی دولت و ارتقاء کارایی پروژه‌ها مؤثر باشد. از سوی دیگر، مشارکت با شرکت‌های بین‌المللی باعث شکل‌گیری فرهنگ بهره‌برداری مبتنی بر استانداردهای جهانی، توسعه نیروی انسانی بومی و ارتقاء سطح مدیریت پروژه‌ها خواهد شد. همچنین با ورود بازیگران بین‌المللی، امکان به‌کارگیری فناوری‌های پیشرفته و بهره‌برداری صیانتی افزایش یافته و امکان صادرات خدمات فنی و مهندسی نیز فراهم می‌شود.

۵. راهکارهای تحول در سرمایه گذاری و توسعه بخش بالادستی نفت و گاز

با توجه به چالش های متعدد سرمایه گذاری در بخش بالادست نفت و گاز از جمله ریسک های ژئوپلتیکی، ضعف در سیاست گذاری، کمبود منابع مالی و عدم بهره گیری از فناوری های نوین ضرورت تدوین و اجرای یک بسته راهبردی برای تحول در این بخش بیش از پیش احساس می شود. این راهکارها باید همزمان جنبه های نهادی، حقوقی، اقتصادی، فناورانه و بین المللی را پوشش دهد.

- **اصلاح چارچوب نهادی و حکمرانی**

۱- تشکیل نهاد تنظیم گر مستقل انرژی: ایجاد سازمانی با اختیار نظارتی بر قراردادها، قیمت گذاری، شفافیت و حل اختلافات می‌تواند اعتماد سرمایه گذاران را بازگرداند.

۲- تفکیک وظایف حاکمیتی و اجرایی: کاهش تداخل نقش دولت به عنوان سیاست گذار و مجری پروژه ها و واگذاری برخی از اختیارات اجرایی به شرکت های توانمند داخلی

- **بازنگری در مدل های قراردادی و جذب سرمایه گذار**

۱- تدوین قراردادهای قابل رقابت منطقه‌ای: استفاده از مدل های منعطف مانند Production Sharing Contract (PSC) یا Service Contract با شرایط جذاب برای سرمایه گذار

۲- پیش بینی مکانیزم جبران ریسک سرمایه گذار: مانند تضمین بازگشت سرمایه، پرداخت به موقع و نرخ بازده معقول

۳- ایجاد پنجره واحد سرمایه گذاری: برای ساده سازی مجوزها، پرداخت ها و ارتباط با نهادهای دولتی

- **تامین مالی و ابزارهای نوین سرمایه گذاری**

۱- ایجاد صندوق های پژوهش بالادستی: برای جذب منابع داخلی از طریق بازار سرمایه و مشارکت عمومی

۲- تشویق بانک‌های توسعه ای به ورود هدفمند: از طریق تسهیلات کم بهره و ضمانت نامه های اعتباری.

- **توسعه فناورانه و انتقال دانش فنی**

۱- سرمایه گذاری در مراکز پژوهشی و R&D: با هدف بومی سازی فناوری های نوین در اکتشاف، حفاری و ازدیاد برداشت.

۲- تشویق شرکت های دانش بنیان برای ورود به پروژه های بالادستی: به ویژه در زمینه اینترنت اشیا نفتی، مدل سازی مخازن، هوش مصنوعی و ابزارهای حفاری پیشرفته.

۳- ایجاد همکاری های فناورانه بین المللی: در صورت گشایش سیاسی از طریق قراردادهای انتقال فناوری و آموزش نیروی انسانی.

- **سیاست های خارجی انرژی محور**

۱- تعامل هدفمند با بازارهای انرژی جهانی: بهره گیری از دیپلماسی انرژی برای بازگشت به زنجیره تامین نفت.

۲- کاهش ریسک ژئوپلتیکی از مسیر مذاکرات فعال و تنش زدایی: برای تسهیل حضور شرکت های بین المللی در پروژه های نفتی کشور

۳- توسعه بازار صادراتی منطقه‌ای: از جمله از طریق پروژه های خط لوله و سرمایه گذاری مشترک با کشورهای همسایه.

- **تقویت نیروی انسانی و منابع داخلی**

۱- بازآموزی و توانمند سازی کارکنان صنعت نفت در حوزه های نوین: مانند مدیریت پروژه، اقتصاد نفت، مهندسی مخزن پیشرفته.

۲- ایجاد نظام انگیزشی برای نخبگان در پروژه های داخلی: از طریق سهام دهی، مشارکت در مالکیت فکری و پاداش های عملکردی.

۵. نتیجه گیری

صنعت نفت و گاز، به‌ویژه در بخش بالادست، همواره در قلب اقتصاد جهانی قرار داشته و نقش مهمی در تأمین انرژی، رشد اقتصادی و تأثیرات اجتماعی ایفا می‌کند. با این حال، در دهه‌های اخیر، این صنعت با چالش‌های جدی از جمله نوسانات شدید قیمت نفت، محدودیت‌های فناورانه، مشکلات مالی و تحریم‌های بین‌المللی مواجه بوده است. در این راستا، تغییرات بنیادین در سیاست‌های سرمایه‌گذاری و رویکردهای توسعه‌ای این بخش ضروری به‌نظر می رسد.

تحول در بخش بالادست صنعت نفت و گاز به‌ویژه نیازمند بازنگری در فرآیندهای قراردادی، بهره‌برداری بهینه از فناوری‌های نوین و ایجاد یک محیط مناسب برای جذب سرمایه‌گذاری داخلی و خارجی است. از جمله این تحولات، می‌توان به ارتقاء مدل‌های قراردادی همچون قراردادهای مشارکت تولید (PSC)، توسعه همکاری‌های بین‌المللی، و افزایش شفافیت و ثبات در سیاست‌های اقتصادی و حقوقی اشاره کرد. این اقدامات می‌توانند موجب افزایش اعتماد سرمایه‌گذاران و تسهیل دسترسی به منابع مالی بین‌المللی شوند.

از سوی دیگر، به‌کارگیری فناوری‌های پیشرفته در زمینه‌هایی نظیر حفاری جهت‌دار، مدل‌سازی پیشرفته مخازن، اینترنت اشیا، و هوش مصنوعی می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در بهینه‌سازی تولید و افزایش بهره‌وری ایفا کند. این فناوری‌ها، علاوه بر کاهش هزینه‌ها و افزایش بازدهی، امکان پایش و مدیریت بهینه میادین نفت و گاز را فراهم می‌کنند.

منابع

• Bertoldi, P., & Atanasiu, B. (2007). Energy Efficiency in the EU: Trends, Drivers and Policy Developments. Springer.

• Höök, M., & Tang, X. (2013). Depletion of oil and gas resources: A review. Energy Policy, 55, 27-34.

• Lund, J. W., & Boyd, G. (2015). Geothermal Energy: Its Potential and Future in the Global Energy Market. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 41, 1149-1156.

• Sovacool, B. K. (2011). The political economy of energy security. Energy Studies Review, 18(1), 1-24.

• Santos, M. C., & Silva, C. S. (2020). Innovation and Technology in the Oil and Gas Industry: A Review of the State of the Art. Energy Economics, 88, 104757.

• Zhu, Y., & Xie, L. (2019). Challenges and Opportunities in the Oil and Gas Sector: Perspectives from Energy Economics. Journal of Petroleum Science and Engineering, 176, 1-14.

• IRENA (International Renewable Energy Agency) (2020). Innovation Outlook: Offshore Renewable Energy. IRENA.

• BP (British Petroleum) (2020). BP Statistical Review of World Energy 2020. BP.

• Aghaei, J., & Ghasemi, H. (2016). Investment Risk Analysis in the Oil and Gas Industry: A Case Study of Iran's Petroleum Sector. Journal of Petroleum Science and Engineering, 139, 104-115.

• EIA (U.S. Energy Information Administration) (2019). Annual Energy Outlook 2019. U.S. Department of Energy.

مهندسی ایرانی در آستانه عصر جهانی شدن معکوس

دکترحامد قدیم
مدیرعامل شرکت توسعه انرژی نارگان آمیتیس

مقدمه

جی دی ونس، معاون اول رییس جمهور آمریکا، در سخنرانی خود در گردهمایی آندرسین هورووویتز[1] سال ۲۰۲۵، در خصوص آسیب های جهانی شدن برای کشورهای توسعه یافته جهان اول، به دو نکته اساسی و مهم اشاره نمود. درک این دو نکته، برای نخبگان کشورهای در حال توسعه از اهمیت بالایی برخوردار است. ونس در سخنان خود بیان می نماید که نخبگان غربی در فرایند جهانی شدن دو فرض اشتباه داشته اند. اشتباه اول و مهم آنها این بوده است که همواره جهان توسعه یافته، طراحی می‌کند و فرایند ساخت با نیروی کار ارزان در کشورهای توسعه نیافته جهان سوم انجام می‌پذیرد. بنابراین، همواره غرب در بالای زنجیره ارزش ایجاد شده قرار داشته و با انتقال فرایند ساخت به کشورهای در حال توسعه، با کاهش هزینه های ساخت، ارزش افزوده را بالا می برد. ونس اما اعتراف جالبی می کند و می گوید در خلال این سال‌ها، کشورهای در حال توسعه و کمتر توسعه یافته در زمینه مهندسی و طراحی به میزان زیادی رشد کرده اند و بنابراین عملا طراحی و ساخت در خود آنها انجام می‌گیرد. نکته دیگری که او مطرح می کند، تاثیر منفی کاهش هزینه بر نیاز به ایجاد نوآوری است و بیان می کند که فرایند جهانی شدن منجر به کاهش نیاز به ایجاد نوآوری در فرایندهای تولیدی شده و بنابراین کسب و کارها به نیروی کاری ارزان قیمت، اعتیاد پیدا کرده اند.

سخنرانی ونس از این جهت به عنوان مقدمه این نوشتار کوتاه انتخاب شده است که دو مفهوم را در درون خود مستتر دارد. مفهوم اول، بیان صریح تقویت بنیه مهندسی در کشورهای هنوز توسعه نیافته و در حال توسعه است و این بیان، از زبان معاون اول ریاست جمهوری یکی از فناورترین کشورهای جهان، بر خلاف باور عمومی در بدنه نخبگان کشورهای عمدتا در حال توسعه، شگفت‌انگیز است. مفهوم دیگر او، باور به نیاز به پایان دادن جهانی شدن است. این موضوع در سخنرانی ترامپ در مجمع عمومی سازمان ملل متحد در سال ۲۰۱۸ نیز مطرح گردید که ایالات متحده دیگر به دنبال جهانی شدن نیست و پیشنهاد کرد که تمامی کشورها، به عنوان جایگزینی برای جهانی شدن، به ملی‌گرایی روی آورند. در آن زمان، در تحلیلی بیان داشتم که جهانی شدن که با آغاز تشکیل سازمان ملل متحد و بر اساس ایده خیراندیشانه روشنفکران دوران روشنگری در غرب شکل گرفت، در گذر زمان به جهانی شدن معکوس انجامیده است و غرب و شمال دنیا، حالا مصرف کننده تولیدات فرهنگی و فکری شرق و جنوب شده است. همین جهانی شدن معکوس است که راست گرایان دنیا را دچار وحشت کرده است و به رشد ملی گرایی افراطی در غرب و شمال دنیا منجر شده است.

چرا این بحث برای ما مهم است؟ در شماره پیشین نشریه چشم انداز نفت، عبارت "مهندسی ایرانی" بعنوان یک دارایی استراتژیک ملی مطرح گردید. در برخی از بازخوردهای دریافت شده در شبکه های اجتماعی، همچنان تردید در وجود این توانایی کلیدی وجود داشت. همچنین، اساسا این مفهوم، از منظر ارتباط موقعیت جغرافیایی با مبانی علم مهندسی که طبیعتا مشخصه قابل ارتباطی با جغرافیا ندارد، مورد نقد قرار گرفت. این نوشتار کوتاه، تلاشی است برای پاسخ دادن به برخی از شبهات مطرح شده و تبیینی دقیق تر از مفهوم مهندسی ایرانی در عصری که میتوان آن را **جهانی شدن معکوس** نامید.

توسعه و جهانی شدن[2]

مدرنیته در حقیقت عصر تمدنی‌ای است که در طول تاریخ و در پروسه ای بدون بازگشت شکل گرفته است. تاریخی بودن و بدون بازگشت بودن مدرنیته ویژگی هایی هستند که در مطالعه اثرات جهانی شدن مدرنیته حائز اهمیت میشوند. مدرنیته در غرب و در اندیشه متفکرین غربی متولد شد اما در غرب نماند و به تمامی دنیا سرایت نمود اما این سرایت نه در فلسفه و در فکر، بلکه بیشتر در ابزار و لایه بیرونی آن که سریع تر و قابل مشاهده تر است، رخ داد و همین عاملی برای به وجود آمدن بحران شد. هگل معتقد است در هر دوره ای، یك تمدن که توانایی تولید و باز تولید فرهنگی بالاتری دارد، جهان را هدایت می‌کند. بنابراین مدرنیته اتفاقی تاریخی است که به میل فرد خاصی رخ نمی‌دهد. همچنین این فرایند بازگشت ناپذیر است یعنی بازگشت به دوره پیش از آن ممکن نیست. به اعتقاد هگل، مدرنیته دست آورد آخرین اندیشه های بشری و عالی ترین شکل تمدن است، و امکان بازگشت از آن وجود ندارد.

سوآرز (۲۰۰۸) منشأ مفهوم توسعه به معنای مدرن آن را قرن هجدهم و افکار ماری ژان آنتوان نیکولا دو کاریتات[3] ، معروف به مارکیس منتخب می‌داند. مارکیس منتخب، ریاضیدان، فیلسوف و سیاست‌مدار فرانسوی، نقش مهمی در شکل‌گیری ایده‌آل‌های عصر روشنگری ایفا کرد و در کتاب "**نگاهی تاریخی به پیشرفت انسان**" (۱۷۹۵)، آینده بشر را در سه محور: رفع نابرابری بین ملت‌ها،

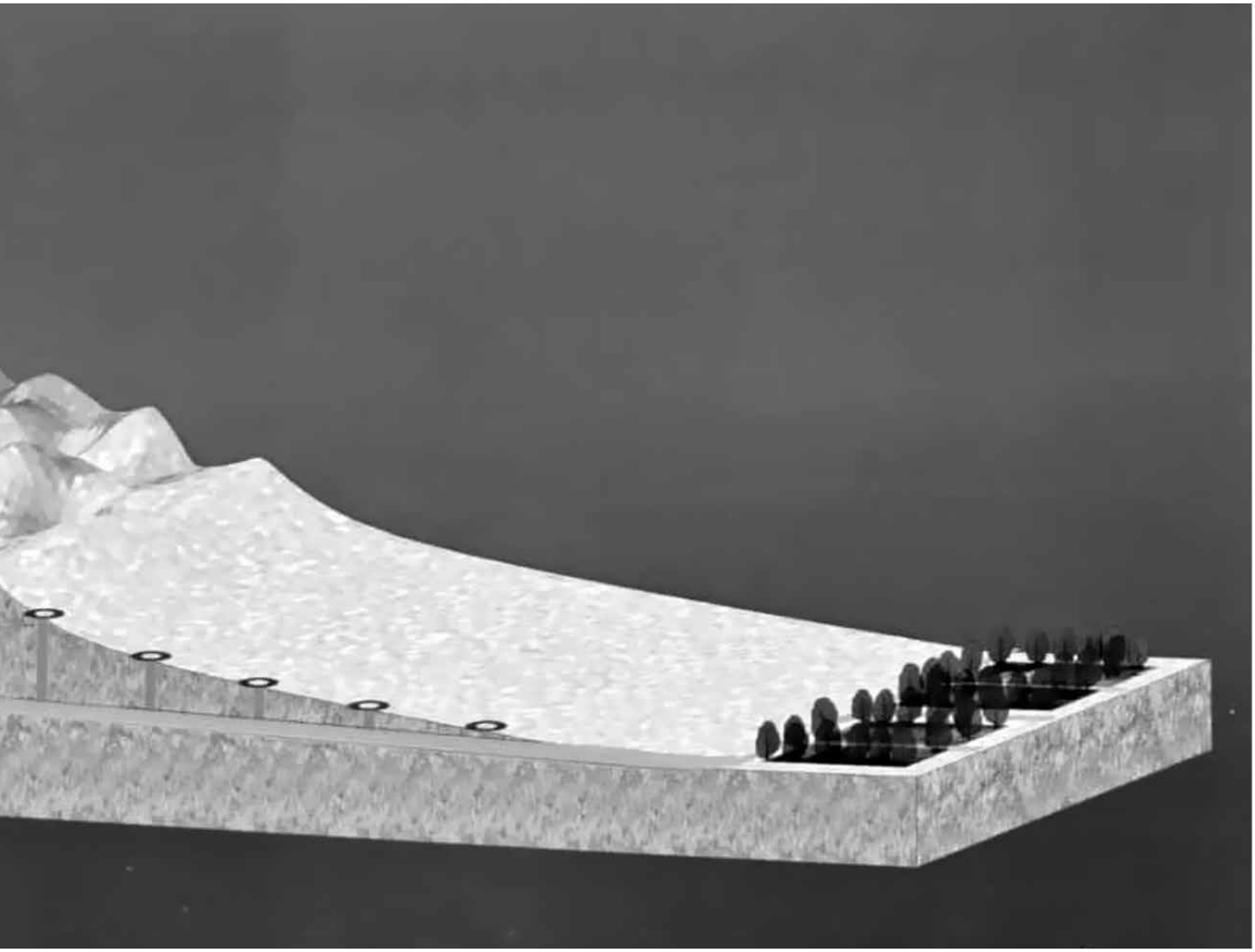
۱. Andreessen Horowitz summit

۲. Globalization

۳. Marie Jean Antoine Nicolas de Caritat, Marquis of Condorcet

افزایش برابری درون ملت‌ها و ارتقاء جایگاه انسان، تبیین می‌کند. او گسترش صنعت در مستعمرات را راه نجات آنها دانسته و حتی پیش‌بینی کرده بود که برخی ملت‌ها در برابر توسعه مقاومت می‌کنند، در حالی‌که برخی با آغوش باز آن را می‌پذیرند. در قرن بیستم، ترومن رئیس‌جمهور آمریکا، سیاست‌هایی برای حمایت فنی از کشورهای در حال توسعه ارائه کرد که آغاز دوره‌ای جدید در توسعه بود. تأسیس سازمان ملل و اجرای برنامه‌های بین‌المللی مانند بهداشت، آموزش و حقوق بشر، مفهوم توسعه را از یک انتخاب فردی و فرهنگی به برنامه‌ای جهانی و الزام‌آور بدل کرد. با این وجود، بر خلاف ایده های اولیه روشنفکران عصر روشنگری از جهانی شدن توسعه، تمرکز به جای آنکه بر فرایندی درونی و برای ایجاد مبانی فکری باشد، به سازوکاری اجرایی و اقتصادی برای تبدیل و همگون سازی ساختارها تبدیل شد و این موضوع باعث شد تا کشورهای در حال توسعه، به جای توسعه یافتن، مصرف کننده محصولات فکری جهان توسعه یافته، و ابزاری برای چرخه تولید باشند. این همان چیزی است که جی دی ونس به صراحت به آن اشاره می‌کند، یعنی منابع کشورهای توسعه نیافته شامل منابع انسانی آن، از طریق فرایند جهانی شدن، به بخشی از چرخه تولید جهانی بدل می شوند. اگرچه این روند طی شده در تاریخ، خصوصا به دلیل تفاوت ماهیتی مدرنیزاسیون (جنبش در سطح به تعبیر ژرژ بلاندیه) با مدرنیسم (جنبش در عمق) و یا به تعبیر دیگر، به دلیل تضادهای بین مبانی فکری و فرهنگی افراد با ساختارهای تحمیلی، عامل اصلی بحران های فردی و اجتماعی بوده است، اما در نهایت، جنبش در سطح، در سطح نمانده و در نهایت به جنبش در عمق منجر شده است.

مشکل اصلی در درک توسعه، نبود یک تعریف جامع و مشترک از آن است. اوبرل و همکاران (۲۰۱۴) بر لزوم تعریف توسعه به گونه‌ای که ابعاد اقتصادی، اجتماعی و اخلاقی را در بر بگیرد، تأکید می‌کنند. آجیبودو (۲۰۱۲) نیز بیان می‌کند که توسعه اغلب با غربی شدن و صنعتی شدن اشتباه گرفته می‌شود، در حالی‌که باید آن را به عنوان فرایندی کیفی و تحول درونی انسان و جامعه دید. دیوسالار (۱۳۹۲) نیز معتقد است که توسعه به معنای حرکت از وضعیتی به وضعیت مطلوب‌تر است. بدون درک مدرنیته، توسعه به تقلید سطحی از غرب تقلیل پیدا می‌کند. این امر باعث می‌شود نه سنت‌ها به درستی نقد شوند و نه ظرفیت‌های بومی به‌درستی به‌کار گرفته شوند. توسعه یعنی انتخاب مقصدی متناسب با نیازهای فرهنگی هر ملت در جهان مدرن، نه پذیرش کورکورانه الگوهای دیگران. اگر مدرنیته را موتور محرکه جریان تاریخ معاصر بدانیم، آنگاه توسعه به مثابه حرکت یک ملت، برای رسیدن به جایی است که خود برای خود در جهان مدرن تعیین می‌نماید؛ حرکت از وضع فعلی به نقطه ای که من آن را "مقصد عزیمت" در جریان



توسعه می نامم یعنی همان نقطه مطلوب تر نسبت به وضع فعلی. بر اساس چنین تبیینی از مفهوم توسعه، یعنی فرایندی به جهت افزایش مطلوبیت، و بر خلاف بسیاری از تعاریف فعلی که آن را بر اساس نتایج حاصل از اجرایی شدن آن تعریف میکنند، باید به خود فرایند پرداخت و چگونگی آن را تبیین نمود. توسعه در سطح فردی، فرایندی است که در طی آن مبانی فکری و فلسفی انسان سنتی تغییر کرده و با تغییر شناختی ، او به بلوغ هستی شناسانه ای میرسد که پس از آن، او دیگر کودکی نیازمند و بی پناه و تحت تسلط طبیعت پیرامونی و والدهای طبیعی و انسانی و فرا طبیعی برای زیستن در این جهان نیست. توسعه در سطح اجتماعی نیز، فرایندی است که در آن جمعیت بزرگی از جامعه، فرایند توسعه فردی را آگاهانه طی می کنند که در نتیجه آن، جامعه متشکل از اعضایی مسئول در قبال جامعه و جامعه‌ای مسئول در قبال اعضایش است که نتیجه مشارکت آنها به بهبود شرایط زیستی و افزایش کیفیت زندگی همه اعضای جامعه منجر می‌شود.

با چنین تبیینی از مفهوم توسعه، جامعه ایرانی توانسته است پتانسیل خود را برای توسعه افزایش داده و حدودی از این ظرفیت بالقوه به فعلیت نیز رسیده است. اگرچه داشتن بهره علمی و توسعه دانش در ایران سابقه تاریخی بلندمدت، پیش از شروع مدرنیته را دارد، اما جهانی شدن نیز در توسعه توان داخلی و رشد دانش فنی و مهندسی در کشور تاثیر بسزایی داشته و ایران را در میان کشورهای جهان، به یکی از نمونه های مفهوم طرح شده توسط جی دی ونس بدل کرده است، یعنی کشورهای در حال توسعه‌ای که ظرفیت طراحی و مهندسی آنها بسیار رشد کرده است. جهانی شدن این فرصت را اما همچنین برای ما فراهم نموده است تا در فرایند جهانی شدن معکوس، جایگاه خود را در زنجیره ارزش ارتقا دهیم.

نقد و تبیین مفهوم «مهندسی ایرانی»

یکی از ایرادات مطرح شده در واکنش به طرح مفهوم مهندسی ایرانی، نقد معنای ذاتی این عبارت است. آیا مهندسی ایرانی توهمی بزرگ نمایی شده برای کاهش حس حقارت از تاخیر در توسعه یافتگی نیست؟ آیا ما توانایی تولید فناوری را داریم و در شرایطی که نیازمند فناوری هستیم، آیا می توانیم خود را صاحب دانش مهندسی بدانیم؟ آیا جغرافیا و هویت های ملی، می‌توانند در تبیین مفاهیم کاملا فنی نقش داشته باشند؟ مهندسی ایرانی با مهندسی آلمانی و مهندسی ازبک، فرقی دارد؟ آیا این عبارتی جعلی متاثر از ملی گرایی افراطی که خود یکی از دلایل توسعه نیافتگی و به عنوان یکی از موانع جهانی شدن است، نمی باشد؟ اگرچه برخی از مخاطبین نسبت به این مفهوم بازخورد مثبت داشته اند، اما بررسی ایرادات مطرح شده، و ایضاح بیشتر مفهوم در سایه نقدهای وارده، به درک بهتر معنای عبارت مهندسی ایرانی منجر میگردد.

نکته اولی که باید به آن پرداخته شود، چرایی عقب ماندگی فناورانه، در مقایسه با ظرفیت ادعا شده مهندسی است. به بیان دقیق تر، اگر مهندسی استفاده از اصول علمی و ریاضی برای طراحی، تحلیل، و ساخت سیستم‌ها، سازه‌ها، و فرآیندها به‌منظور حل مسائل است و مفهوم تکنولوژی کاربرد ابزارها، تکنیک‌ها و فرآیندها برای انجام وظایف یا حل مسائل است، در آن صورت باید نتیجه گرفت که فناوری محصول یا نتیجه عملی مهندسی است که به کار گرفته می‌شود. بنابراین اگر ما در زمینه خلق فناوری به اندازه کافی موفق نیستیم، آیا نباید نتیجه گرفت دانش مهندسی به اندازه ای که ادعا می شود در ایران قوی نیست؟ بررسی عواملی که میتوانند دلایل عقب ماندگی در زمینه خلق فناوری ها باشند، می تواند در پاسخ به این اشکال و کاهش یکسونگری به ضعف مهندسی به عنوان عامل عقب ماندگی فناورانه موثر باشد. برخی از این عوامل را مختصرا در ذیل بررسی می‌کنیم:

ساختار آموزشی نظری‌محور

در ایران، آموزش مهندسی بسیار نظری و دانشگاه‌محور است. عدم مواجهه دانش آموختگان در دانشگاه با نیازهای واقعی در صنعت، باعث می شود تا عمده دانش‌آموختگان پس از فارغ التحصیلی در فرایند آموزش حین کار با کارکردهای عملی دانش مهندسی آشنا شوند و بنابراین فرصت تمرکز بر خلق فناوری برای حل مشکلات، از دست رفته و دانش مهندسی به سطح بازطراحی و استفاده از فناوری‌های در دسترس وارداتی تنزل پیدا می کند. این به معنای ناتوانی مهندسین ایرانی در خلق فناوری نیست، بلکه اساسا کسب و کارها، فضای مناسب برای پژوهش و توسعه در زمینه خلق فناوری را فراهم نمی کنند. چرا؟

فقدان ارتباط صنعت و دانشگاه

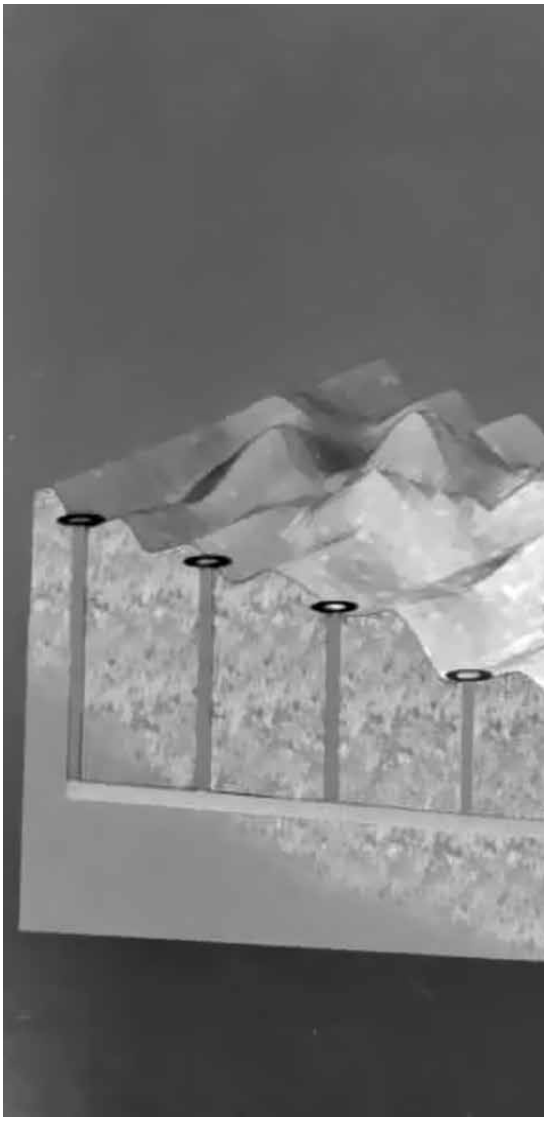
پاسخ به سوال بالا را باید در نبودن ارتباط درست میان صنعت و دانشگاه جست و جو کرد. در بسیاری از کشورها، فناوری در بستر همکاری نزدیک دانشگاه و صنعت رشد می‌کند. در ایران، این رابطه یا بسیار ضعیف است یا وجود ندارد. بنابراین دانشگاه محصول می‌سازد (یعنی نیروی مهندسی)، اما صنعت نمی‌داند یا نمی‌خواهد بداند که چگونه از آن استفاده کند. چرا؟

ضعف در اکوسیستم نوآوری و تجاری‌سازی

پاسخ به چرایی ضعف ارتباط میان صنعت و دانشگاه را نیز باید در اکوسیستم نوآوری و ارتباط منافع اقتصادی با نوآوری جست و جو کرد. علیرغم داشتن ظرفیت دانش مهندسی بالا اما زیرساخت حمایت از ایده، تبدیل ایده به محصول، و ورود به بازار ضعیف است. فناوری نیاز به محیطی دارد که در آن کارآفرینی، سرمایه‌گذاری جسورانه، ثبت اختراع، تولید صنعتی و صادرات امکان‌پذیر باشد. بنابراین ضعف زیادی در کارآفرینی در حوزه مهندسی فناورانه داریم. چرا؟

اقتصاد وابسته به منابع خام

و برای درک چرایی این ضعف در اکوسیستم



نوآوری ریشه را باید در وابستگی اقتصاد به فروش نفت برای واردات جست و جو کرد که نیاز به تولید فناوری را کاهش داده است. علیرغم قوانین حمایتی مانند قانون بهره گیری حداکثری از توان تولید داخلی، با این وجود حجم بالایی از کالاها و فناوری از خارج وارد می‌شوند و بنابراین فرصتی برای بومی‌سازی و رشد فناوری داخلی ایجاد نمی‌شود. البته باید توجه داشت که لزوما تولید تمامی کالاها و فناوری ها در یک کشور صحیح نیست و باید به اهرم های موجود که تولید داخلی را در مقابل واردات آن به صرفه می کند توجه داشت. حالا سوال اینجاست که چرا ما در چین وضعیتی قرار داریم؟

یکی از دلایل اصلی این وضعیت البته این واقعیت است که تصمیم‌گیری‌های کلان در ایران، در بخش های دولتی، اغلب سیاسی و نه تخصصی است. با این وجود نگارنده، بر این باور است که این موضوع، خود نیز ریشه در باورها و مبانی فکری و فلسفی دارد. خلق فناوری نتیجه مدرن شدن انسان پیشامدرنی و تغییر مبانی فکری و فلسفی او بود. به بیان دیگر، خلق فناوری به جز دانش مهندسی نیازمند باوری فلسفی به لزوم خلق تکنولوژی برای تسلط بر جهان پیرامون و فرهنگ پذیرش نوگرایی و تغییر در سنت‌های پیشین است. چرا مهندس ایرانی فناوری خلق نمی کند؟ چون تصمیم گیران باور ندارند که خلق فناوری وظیفه انسان ایرانی است و در غیاب آگاهی از این وظیفه و در غیاب چارچوب فکری و فلسفی منجسمی که انسان مدرن ایرانی را تبیین میکند، استفاده از فناوری برای رفع نیازهای سطحی و تامینی بر خلق فناوری ارجحیت دارد. بنابراین دلیل آنکه ما در بکارگیری دانش مهندسی در سطح بازطراحی و به کارگیری مجدد فناوری‌ها مانده ایم و در خلق و تولید فناوری هنوز دچار عقب ماندگی هستیم را نه در ضعف دانش مهندسی بلکه در مبانی فکری و فلسفی کمتر توسعه یافته و مدیریت غلط باید جست. و جالب اینجاست که تصمیم گیری و قضاوت در خصوص ظرفیت فنی و مهندسی کشور در دست همان افراد و نهادهایی است که شیوه نگاه و تصمیمات مدیریتی شان کم تاثیر در عقب ماندگی فناورانه نبوده است.

موضوع بعدی، ارتباط هویت ملی با دانش فنی و مهندسی است. اگرچه نگارنده در این نگاه با منتقدین هم نظر است که اساس دانش بشری ربطی به ملیت و جغرافیا ندارد اما اطلاق واژه "ایرانی" به امر مهندسی، دو دلیل مهم دارد که در اینجا شرح داده میشود. اول آنکه، صفت ایرانی در اینجا نه به معنای تفاوت در ماهیت مبانی دانش مهندسی بلکه مرتبط با کیفیت قابل اطلاق به خروجی های فنی حاصل شده از مهندسان ایرانی است. به این معنا، میتوان مثلا بیان کرد که کیفیت طراحی مثلا آلمانی با طراحی چینی متفاوت است و برخی از مشخصه ها میتوانند در طراحی مهندسی متاثر از باورهای فرهنگی متفاوت باشند. یک مثال بسیار خوب تکنولوژی مبتنی بر منطق فازی[۴] است که توسط پروفسور عسکرزاده در آمریکا ارایه شد اما این تئوری ریاضی توسط ژاپنی ها تبدیل به فناوری های مبتنی بر منطق فازی شد و دلیل آن، توانایی ژاپنی ها در درک مفهوم چیزی بین صفر **و** یک در تقابل با مفهوم منطق دیجیتالِ صفر **یا** یکِ قابل درک توسط آمریکایی ها بود. مهندسی ژاپنی با مهندسی آمریکایی متفاوت است اگرچه در مبانی دانش مهندسی هر دو از یک مبنا بهره می برند. به همین نسبت طراحی شرکت های اروپای غربی با طراحی مهندسی شرکت های آمریکایی متفاوت است و در حالیکه طراحی مهندسی آمریکایی سریع، کارا، مقرون‌به‌صرفه، عمل‌گرا، نوآور و بازارمحور است طراحی مهندسی اروپایی بیشتر دقیق، استانداردمحور، زیباشناسانه و محافظه‌کارانه می باشد.

بنابراین اطلاق واژه ایرانی، دادن هویتی فرهنگی به امر مهندسی است. بازیابی مشخصه های فرهنگی در امر مهندسی بازگشت به عقب و یا ایجاد توهم توده‌ای نیست بلکه تلاش برای بازیابی نوع تفکر مهندسی ایرانی نسبت به خروجی فنی و مهندسی اوست. محمد بهشتی این موضوع را به زیبایی در برنامه سپنج تبیین می کند که معماری و مهندسی ایرانی در گذشته، چگونه متاثر از درک محدودیت های جغرافیایی و همچنین المان های فرهنگی، توانایی خلق شاهکارها را داشته است.

علاوه بر این، نکته مهم دیگر، درک تاثیر اطلاق واژه ایرانی در حفظ مفهوم ملیت است. برای فهمیدن این مسئله باید به آغاز تعریف مفهوم ملیت در ایران برگردیم یعنی دوران پسامشروطه وقتی برای اولین بار اندیشمندان ایرانی، در بستر مشروطه‌گرایی که مفهوم ملیت را به طور عمومی مطرح می کرد، با این سوال روبرو شدند که چگونه مجموعه ای از انسان ها در یک جغرافیای متنوع از اقوام و خرده فرهنگ‌های مختلف را می‌توان یک ملت نامید؟ اگرچه تبیینات مختلفی اعم از اشتراکات تاریخی و یا مرزهای عینی جغرافیایی در آن زمان مطرح شدند اما به نظر می آید یکی از زیباترین تبیینات را ابوالحسن فروغی، برادر محمدعلی فروغی، ارایه کرده است و آن "اشتراک افراد در داشتن ماموریتی جهانی برای پاسخ به نیازهای روز بشر" است. من در خلال شرکت در اکسپوی جهانی قزاقستان و بعدتر در اکسپوی امارات بود که این مفهوم را به معنای واقعی درک کردم. در حالیکه در اکسپوی جهانی در شهر دوبی، کشور تایلند و یا امارات متحره عربی و یا روسیه، ایده‌های مهندسین خود را برای استفاده و یا خلق فناوری ها برای پاسخ به چالش های پیش روی بشر ارایه می نمودند، ما در غرفه ایران پسته و فرش و تابلوهای منبت‌کاری می‌فروختیم. این نتیجه حذف واژه ایرانی از امر مهندسی و ناتوانی مدیران ایرانی در درک اهمیت آن در حفظ جایگاه ایران در عرصه جهانی است. نخبگان ابزاری، یعنی مدیران عمدتا دولتی و البته مدیران اثرگذار در بخش خصوصی، با تقلیل مهندسی به مجموعه ای از محاسبات فنی، شبیه‌سازی‌ها، و مجموعه‌ای از تجهیزات و ادوات که نهایتا داده ها را به خروجی مورد نظر تبدیل می کنند، و با عدم باور به ظرفیت مهندسی ایرانی، نه تنها کشور را از این ظرفیت محروم می کنند، که لطمه ای جبران ناپذیر به مفهوم ملیت و حفظ جایگاه کشور در عرصه های جهانی میزنند. آن هم با وجود در اختیار داشتن مهندسینی که نه تنها در انجام تمامی آن محاسبات و شبیه سازی ها و پیکره بندی تجهیزات و ادوات توانمند هستند، بلکه با تفاوت های فکری و فرهنگی شان می توانند برای حل مشکلات پیش روی بشری با ارایه طرحی نو، موثر باشند و ملیت ایرانی را از به حاشیه رانده شدن و نامرتبط بودن نجات دهند.

جمع بندی

تاکید جی دی ونس و ترامپ بر لزوم پایان دادن به جهانی شدن و تمرکز تولید در مرزهای غرب و شمال، به اندازه مبارزه با جهانی شدن در شروع عصر مدرنیته بی تاثیر است. بازگشت پذیری تاریخی ممکن نیست و این فرصت پیش روی شرق و جنوب دنیاست اما آنچه موثر است باور و هوشیاری برای استفاده از این فرصت هاست. اطلاق واژه ایرانی به امر مهندسی به معنای تفاوت مهندسی در مبانی دانش فنی نیست بلکه ابتدا به معنای بازیابی مشخصه های فرهنگی مثبت تاثیرگذار در ایجاد تمایزات کیفی در خروجی های مهندسی و سپس به معنای تاکید بر لزوم نقش آفرینی مهندسین ایرانی در خلق جهان مصنوع، تسلط بر طبیعت پیرامونی و ارایه راهکار برای حل مسائل پیش روی بشر است.

۴. Fuzzy Logic

دانشگاه های امیرکبیر و شیراز میزبان رویداد اشتراک تجربیات اسیدکاری میادین دریایی توسط شرکت انرژی دانا

کسب‌وکار خدمات چاه انرژی دانا از سال ۱۳۹۸ در قالب خدمات اسیدکاری گسترده در حوزه دریا با استفاده از شناور اسیدکاری مدرن و ملکی خود، افتخار داشته با ارائه خدمات اسیدکاری باعث افزایش و راندمان تولید و ضریب بهره‌دهی چاه‌های میادین فلات قاره ایران و پارس جنوبی شود. این کسب‌وکار تجربه بالای ۱۵۰ عملیات اسیدکاری گسترده در آب‌های خلیج فارس را با استفاده از شناور ملکی خود در کارنامه دارد.
کسب‌وکار خدمات چاه در راستای انجام مسئولیت اجتماعی خود و جهت تعالی و انتقال تجربیات به دانشجویان مهندسی نفت در زمینه سرویس اسیدکاری چاه‌های نفت‌وگاز اقدام به برگزاری دوره‌هایی برای دانشگاه‌های صنعتی امیرکبیر و شیراز در اسفند ماه کرد.
در این دوره‌ها سرویس‌های حفاری کسب‌وکار خدمات چاه شرکت انرژی دانا توسط مهندس اصغرنیا مدیرعامل کسب‌وکار خدمات چاه معرفی شد. سپس سرفصل‌های متنوعی از جمله: مبانی اسیدکاری چاه‌های نفت‌وگاز، طراحی سیالات اسیدکاری، شبیه‌سازی و مهندسی برنامه‌های اسیدکاری گسترده و نحوه اجرای عملیات اسیدکاری خشکی و دریایی توسط خبرگان این کسب‌وکار ارائه شد. همچنین در این دوره تجربیات ارزشمند این کسب‌وکار در مورد اسیدکاری‌های میادین فلات قاره ایران و میدان پارس جنوبی جهت افزایش راندمان تولید و ضریب بهره دهی چاه‌ها به‌وسیله شناور ملکی انرژی دانا، در میان گذاشته شد.
در این دوره همراه با دانشجویان مهندسی نفت، چالش‌های سیالات جدید انگیزش چاه، انواع سیالات اسیدکاری از جمله اسید های امولسیونی، فوم اسید، طراحی اسیدکاری چاه های افقی با بازه مخزنی بالا، نسل جدید منحرف‌کننده‌های شیمیایی دما-فشار بالا مورد بررسی قرار گرفتند؛ مواردی که (گذرا) در زیر ذکر می‌شوند:

اسید امولسیونی (Emulsified Acid):

اسید امولسیونی تهیه‌شده با استفاده از اسیدکلریدریک و گازوییل با درصدهای ترکیبی بهینه همراه افزایه امولسیون‌کننده به نام اسید کندکننده شناخته می‌شود. واکنش این اسید با سنگ مخزن کربناته به‌دلیل عدم تماس مستقیم اسید و سنگ کند می‌شود. به‌همین دلیل اسید در منافذ شکاف‌های موجود در سنگ مخزن نفوذ کرده و اعماق دورتری از حفره چاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

فوم اسید

از افزایه کف‌ساز (Foaming Agent) در طراحی این سیال بهره برده می‌شود، که به‌عنوان ماده شیمیایی عامل کف‌ساز برای کند کردن سیال اسیدی و هدایت سیال انگیزشی به بخش‌های متراکم با تراوایی پایین‌تر سازند مورد استفاده قرار می‌گیرد.

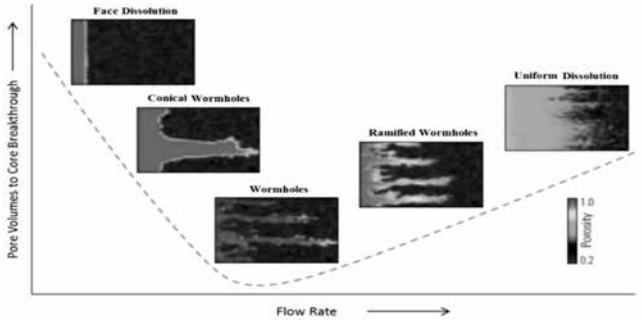
سیال منحرف‌کننده اسید بر پایه ویسکو الاستیک سورفکتنت:

عوامل هدایت‌کننده سیال انگیزشی به‌طور گسترده در طی عملیات اسیدکاری جهت توزیع یکنواخت سیالات اسیدی در نواحی هدف استفاده می‌شوند. یکی از متداول‌ترین سیستم‌های انحراف سیالات انگیزشی، سیستم‌های بر پایه سرفکتنت‌های ویسکو الاستیک (VES)، نتایج خوبی در تست‌های آزمایشگاهی و میدانی نشان داده‌اند. عملکرد ژل شدن این نوع سیستم‌های اسیدی بر پایه سرفکتنت‌های ویسکو الاستیک (VES) است.

سرفکتنت‌های ویسکو الاستیک (VES) در صنعت به‌عنوان هدایت‌کننده جهت بهبود توزیع سیال اسیدکاری به کار می‌روند. یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیر گذار بر خواص رئولوژیکی سیستم‌های اسیدی بر پایه VESدماست. خواص ویسکوالاستیکی با تشکیل ساختارهای خاصی به‌طور قابل توجهی ویسکوزیته ظاهری سیال بر پایه VES را در محدوده دمایی مشخصی افزایش می‌دهد.
همچنین قابل ذکر است، در مورد مسائل طراحی مهندسی اسیدکاری از جمله تعیین حجم بهینه سیالات اسیدکاری (پیش تزریق، سیال اصلی اسیدکاری، سیال منحرف‌کننده اسید و پس تزریق)، نرخ بهینه تزریق جهت بهترین نتیجه برای رشد Wormhole در عملیات اسیدکاری گسترده مخازن کربناته که باعث دور زدن ناحیه آسیب شود، مورد بحث قرار گرفت. روش‌های انجام آزمایش‌های دقیق دسیک‌گردان، تزریق به مغزه (Core Flood) سیالات اسیدکاری و اطلاعاتی که از عملیات‌هایی که از عملیات اسیدکاری به‌دست می‌آید روش بزرگنمایی (Up Scaling) دیتاهای مغزه به مخزن جهت طراحی بهینه برنامه مهندسی اسیدکاری مورد چالش و بحث قرار گرفت.

تزریق سیالات اسیدکاری با نرخ بهینه:

نرخ بهینه تزریق زمانی به‌دست می‌آید که پیشروی Wormhole در بیشترین سرعت خود قرار داشته باشد و همچنین Wormhole از نظر شکل هندسی دارای کمترین شاخه و انشعاب باشد. نرخ بهینه تزریق به طولWormhole نیز وابسته است، به‌گونه‌ای که با افزایش طولWormhole نیاز به نرخ بیشتر برای رساندن اسید تازه به ابتدا Wormhole در حال پیشروی وجود دارد.
مفهوم مورد استفاده دیگر در تزریق‌های بهینه، مفهوم حجم تزریق بی‌بعد تا زمان میان‌گسست breakthrough wormhole است. این حجم بی‌بعد نشان‌دهنده نسبت مقدار اسید مورد نیاز تزریقی به حجم فضای خالی سنگ تا زمین رسیدن Wormhole به خروجی سنگ است. زمانی که نرخ تزریق اسید در حالت بهینه قرار دارد این حجم بی‌بعد در کمترین مقدار خود قرار خواهد گرفت و در دبی‌های کمتر و بیشتر از دبی بهینه، تعداد این حجم بی‌بعد افزایش می‌یابد.
تغییرات حجم‌تزریق مورد نیاز برای میان گسست اسید تزریقی با تغییر در نرخ تزریق در شکل ذیل آورده شده است.



در انتهای این دوره‌ها جلسه پرسش و پاسخ توسط دانشجویان کارشناسی و تحصیلات تکمیلی مهندسی نفت، در مورد سوالات صنعتی-عملیاتی و موضوع‌های جدید این حوزه برگزار شد.

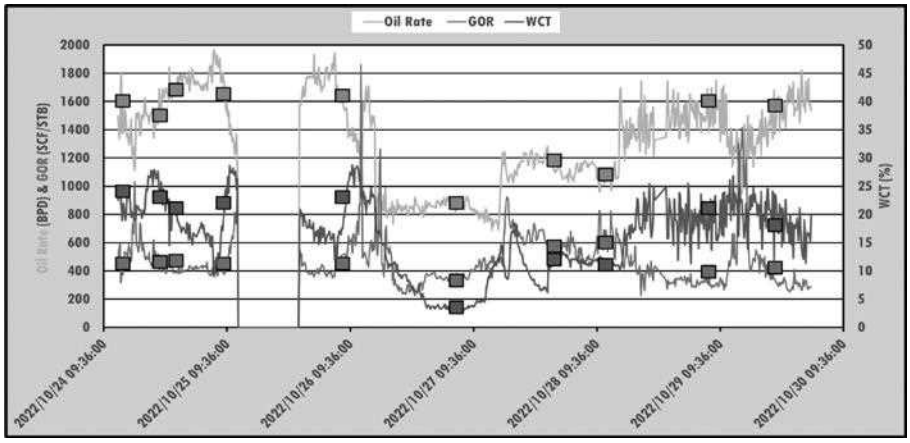
روایت توسعه فناوری بومی جریان سنج چندفازی ارتقای محصول برای چاه‌های High GOR

در پنجاه وسومین شماره چشم‌انداز نفت که در اردیبهشت ماه ۱۴۰۲ به چاپ رسید روایت بومی‌سازی جریان‌سنج چندفازی مدل VG MPFM ، محصول دانش‌بنیان ایرانی ساخته شده توسط شرکت دانش بنیان پتروفن‌آوری‌پایا، مطرح شد. از چرایی طرح موضوع و ایده ساخت این محصول تا مسیر تجاری‌سازی آن و ورود به میادین نفتی کشور مطرح گردید تا برای مخاطب، تصویری از ۱۲ سال فعالیت تحقیقاتی، فنی و عملیاتی ارائه شود. ناگفته‌های بسیاری در این مسیر پر فراز و نشیب نهفته است که بخش اعظم آن پاسداشت و قدردانی از دلسوزان صنعت نفت کشور و عواملی است که به نوبه خود در این خدمت سهیم بوده‌اند. از پذیرش ریسک ورود فناوری جدید و به‌کارگیری آن در عملیات‌های چاه‌آزمایی تا تقاضاهای ایجاد شده برای توسعه این فناوری و ارائه راه‌حلی فناورانه برای شرایط عملیاتی خاص که بعضاً محصولات تجاری موجود را به چالش می‌کشد، نشان از استمرار در ایفای تعهدات این شرکت دانش‌بنیان داشته است.

توسعه کاربرد جریان سنج چند فازی ساخت داخل

انجام بیش از ۱۰۰ عملیات چاه‌آزمایی موفق در دو سال گذشته در میادین خشکی و دریایی متعدد، پایداری عملکرد دستگاه و کارکرد مداوم با حفظ عملکرد در شرایط عملیاتی مختلف اعم از خواص مختلف نفت، محدوده وسیعی از درصدهای آب تولیدی و نسبت گاز به نفت، شرایط دمایی و فشاری خط و همچنین شرایط محیطی گوناگون در میادین خشکی و دریایی و همچنین مزیت‌های متعدد عملیاتی، زیست‌محیطی و اقتصادی ایجاد شده برای شرکت‌های نفتی در جایگزینی روش سنتی بکارگیری تفکیک‌گرهای آزمایشی سه فاز با فناوری جریان‌سنج چندفازی سیار، انگیزه اصلی توسعه فناوری و توسعه بازار برای این محصول بوده است.

توسعه کاربرد این محصول به چاه‌های نفت با نسبت گاز تولیدی بالا (GOR بزرگتر از ۵۰۰۰ SCF/STB)، تشخیص فاز چهارم در سیال تولیدی از چاه و همچنین کاهش وابستگی به دقت داده های PVT مخازن از مهمترین موارد توسعه این فناوری بوده است. حضور در نمایشگاه‌های برون مرزی و استقبال گسترده از محصول جریان سنج چندفازی تولید شده با پشتوانه سابقه ایجاد شده در صنعت نفت کشور، علیرغم حضور رقبای بین‌المللی، مسیر جدیدی برای حضور در عرصه بین الملل و رقابت‌پذیری در لبه فناوری ایجاد کرده است. شرکت دانش بنیان پتروفن‌آوری‌پایا همچنان مصمم است در راستای رفع نیازهای عملیاتی و بهبود مستمر، در ادامه مسیر نیز متعهدانه توان خود را برای پاسخ به اعتماد صنعت نفت کشور صرف نماید.



مقایسه نتایج جریان سنج چندفازی درمقایسه با داده های تفکیک گر آزمایشی سه فاز در یکی از چاه های میدان نفتی آزادگان شمالی

چرا جریان سنج چندفازی (MPFM)؟

در جدول زیر برخی از مزایای استفاده از جریان سنج چندفازی نسبت به تفکیک گر آزمایشی ارائه شده است. با توجه به موارد ذکر شده، استفاده از جریان سنج چندفازی در عملیات های چاه‌آزمایی می‌تواند جایگزین مناسبی برای تفکیک‌گرهای آزمایشی باشد.

Item	VG MPFM	Separator Package	Impact
Space & Weight	Light and portable	Bulky and Heavy	• Less footprint • No additional flow conditioner • Simple installation • Easy mobilization
Piping	1 meter and 1 set of pup joints	Separator, sets of piping, pumps, surge tanks, Flaring, etc.	• Cost saving • Fast rig up/down • No flaring/pumping
Operation	Just commissioning needed then it could be remotely operated	Large number of crew needed to operate	• Reduce operational cost specially in offshore platforms
Timing	< 0.5 days rig up/down	5 days rig up/down	• Less operational and standby costs • Less rig time • Quick and safe operation
Uncertainty	±5%	±15%	• Accurate data
Results	Continues dynamic response	Imperfect separation	• No separation needed • Slug regime detection • Flow regime independent

همچنین از دیگر مزایای استفاده از جریان سنج چندفازی نسبت به تفکیک گر آزمایشی عدم نیاز به سوزاندن گاز یا Flaring و نفت‌سوزی است که از جنبه محیط زیستی بسیار حایز اهمیت می باشد.

در آزمایش های میدانی ارزیابی عملکرد دستگاه جریان سنج چندفازی ساخته شده مدل VG MPFM، نتایج خروجی دستگاه تطابق خوبی با نتایج تفکیک‌گر آزمایشی سه فاز داشته است. اختلاف نتایج اندازه‌گیری دبی فاز مایع در تمامی موارد کمتر از ۵درصدو در بیش از ۷۰ درصد موارد کمتر از ۲/۵درصد مشاهده شده است. در اغلب این موارد مقدار شرینکیج فاکتور تفکیک‌گر آزمایشی سه فاز توسط کاربر مقداری با عدم قطعیت حدود ۵ درصد در نظر گرفته شده است. نتایج میزان آب تولیدی اندازه گیری شده توسط دستگاه VG MPFM در مقایسه با نتایج آنالیز نمونه های سیال گرفته شده از خط، انحراف مطلق کمتر از ۲درصد داشته است.

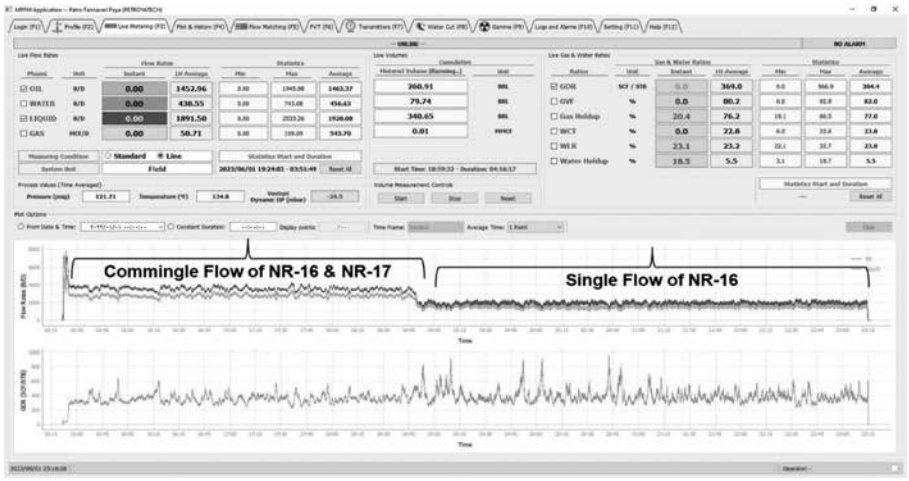
در ادامه به معرفی برخی از مهمترین کاربردها و مزایای استفاده از جریان سنج چندفازی می پردازیم.

۱- پایش پیوسته تولید

یکی از مزایای اصلیVG MPFM نسبت به روش سنتی بکارگیری تفکیک گرهای آزمایشی سه فاز، امکان پایش پیوسته رفتار چاه در حین تولید است. به‌عنوان مثال، زمانیکه دو چاه در یک خط مشترک قرار می‌گیرند و هر دو چاه به‌صورت ترکیبی

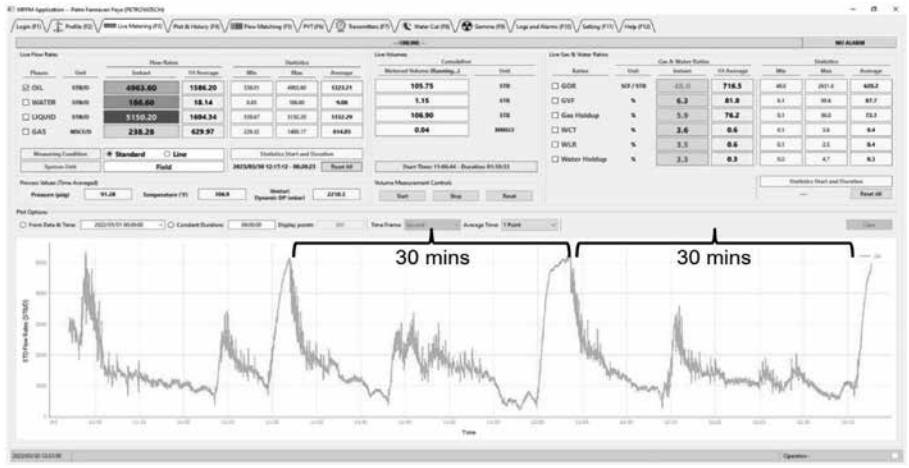
جریان دارند، با کمک پایش مستمر با دستگاهVG MPFM ، تاثیر تولید هر چاه بر جریان مشترک قابل مشاهده است و می‌توان در خصوص تولید بهینه تجمیع چاه ها اقدام نمود.

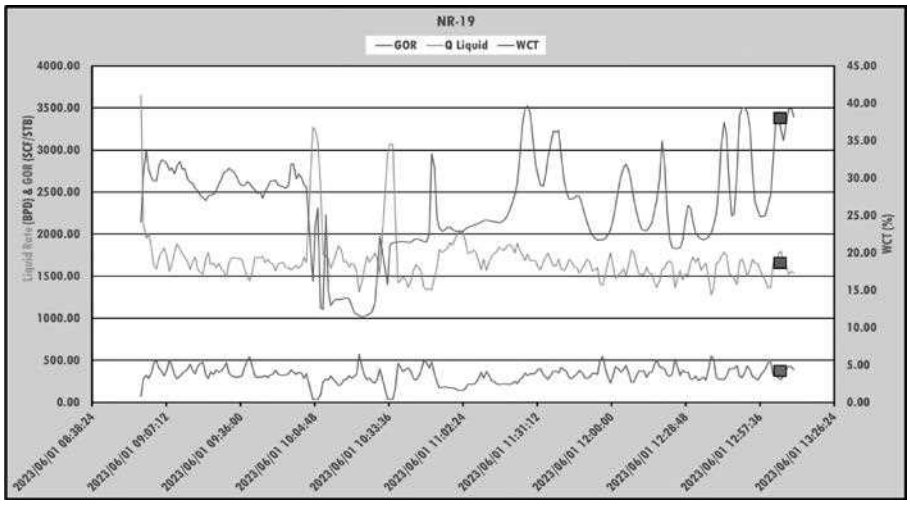
علاوه بر نرخ جریان، VG MPFM می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در مورد تغییرات رژیم جریان در خط ارائه دهد. تشخیص دقیق رژیم جریان تقریباً غیرممکن است، اما شناسایی رژیم اسلاگ که با توالی متناوب اسلاگ‌های مایع و گاز مشخص می‌شود، به‌راحتی قابل شناسایی است. رژیم اسلاگ رایج‌ترین رژیم جریان است که در آن نگهداشت گاز و فشار دیفرانسیل ونچوری نوسانات زیادی دارند. در این رژیم، نگهداشت گاز بین ۱۰ تا ۹۵ درصد تغییر می‌کند و در نتیجه، میانگین GVF در موارد تزریق گاز بالای ۹۸ درصد بود که چالشی بزرگ در دقت اندازه‌گیری جریان است.



۲- حذف خطای انسانی در اندازه گیری با روش نمونه برداری دستی

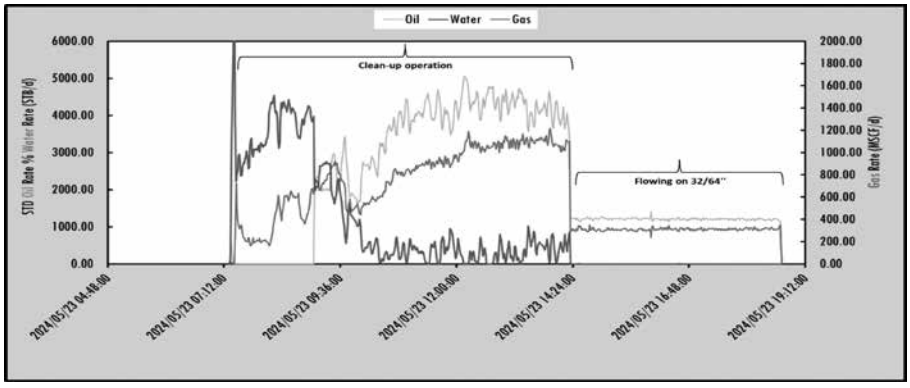
برای نشان دادن اهمیت پایش مستمر توسط دستگاه جریان سنج چندفازی، نمونه‌ای از تغییرات میزان تولید آب در یکی از چاه ها در شکل زیر نمایش داده شده است که مطابق با این گراف زمانی، میزان آب تولیدی اندازه گیری شده با روش نمونه‌برداری دستی از چاه می‌تواند بین ۱۰ تا ۴۰ درصد متغیر باشد. پیگیری روند تغییرات درصد آب با روش نمونه برداری دستی تقریباً غیرممکن است. به همین دلیل، ثبت روند میزان آب تولیدی در سوابق تولید معمولاً براساس اندازه‌گیری‌های تاریخی است، حتی اگر اندازه‌گیری‌های دستی اختلافی تا ۲۰درصد داشته باشد. استفاده از جریان سنج چندفازی در این زمینه باعث می‌شود که میزان آب موجود در جریان چاه به‌راحتی قابل تشخیص باشد و عامل خطای انسانی از اندازه‌گیری میزان آب حذف گردد.





۳- ابعاد و وزن کم

در مقایسه با تفکیک گرهای آزمایشی سه فاز و جریان سنج های چندفازی مبتنی بر روش های جداسازی فازها نظیر فناوری GLCC، دستگاه جریان سنج چندفازی مبتنی بر فناوری جذب سنجی اشعه گاما بسیار کم حجم و سبک تر است و برای موقعیت هایی با محدودیت فضا مانند سکوهای دریایی بهترین و در مواقعی تنها روش استفاده از این محصول می‌باشد.



۴- امکان بهینه سازی اندازه چوک سرچاهی

تعیین اندازه بهینه چوک معمولاً با آزمایش

جریان چاه در اندازه‌های مختلف چوک انجام می‌شود. استفاده از جریان سنج چندفازی می‌تواند این عملیات را با پایش پیوسته و برخط پارامترهای جریان در هر اندازه سرعت بخشد. به‌عنوان مثال، در نمودار زیر، افزایش اندازه چوک به ۴۸/۶۴ اینچ منجر به شرایط جریان ناپایدار با الگوی غالب جریان اسلاگ شد. شکل زیر میزان تولید سه فاز آب و نفت و گاز در سایزهای مختلف کاهنده برای یکی از چاه های میدان نفتی آزادگان شمالی را نمایش می‌دهد که تغییرات رژیم جریان و پایداری تولید برای سایزهای مختلف کاهنده مشخص است.

۵- پیکربندی دستگاه برای چابک سازی عملیات آزمایش چاه

با هدف کاهش هزینه‌های عملیاتی و تسریع فرایندهای استقرار و جمع آوری، پیکربندی نصب شده بر روی کامیون شامل مجموعه دستگاه جریان سنج چندفازی، اسکید، اتصال بای‌پس ورودی، سیستم تست فشار هیدرواستاتیک، سیستم شستشوی خط و دستگاه، لوله های مورد نیاز برای اتصال به خط، دیتا کابین و ژنراتور تولید برق و مخازن آب و سوخت است. با این پیکربندی، تمام امکانات مورد نیاز برای انجام یک عملیات چاه آزمایی بر روی یک کامیون سفارشی سازی شده نصب شده‌اند.

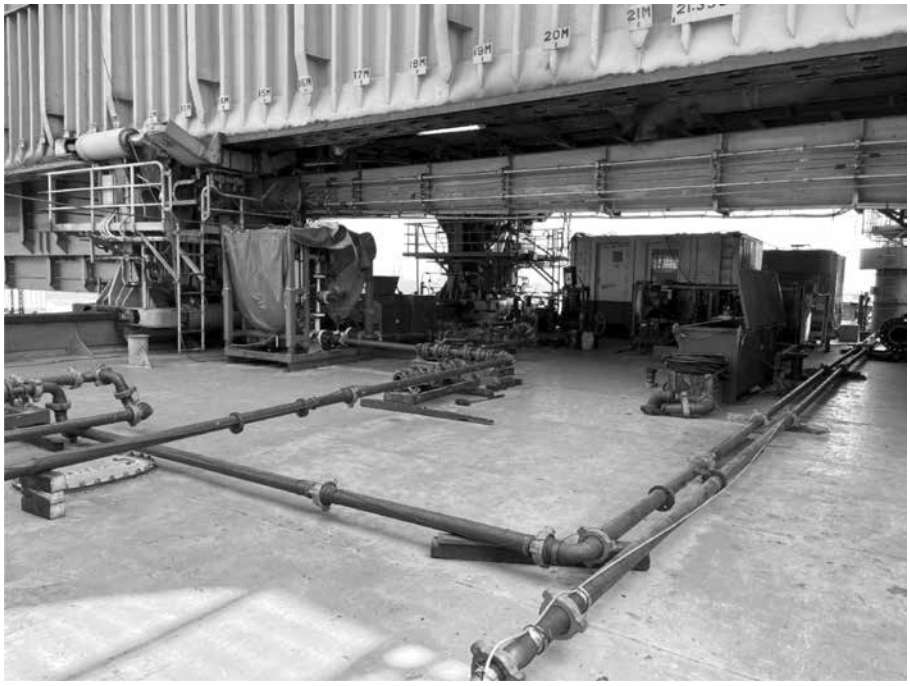
۶- بهینه‌سازی مدت زمان پاک‌سازی چاه

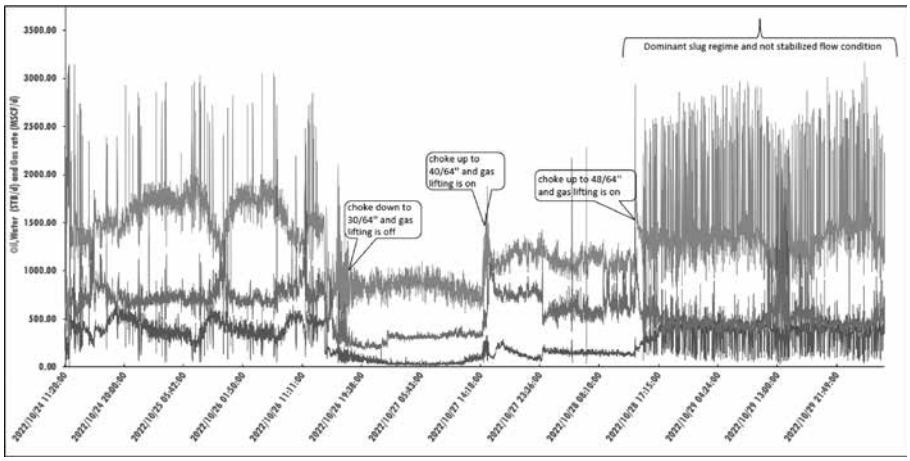
استفاده از جریان سنج چندفازی در عملیات اسیدکاری و پاک‌سازی چاه می‌تواند مدت زمان عملیات پاک‌سازی را با مشاهده روند تولید آب و پایش برخط سیال خروجی از چاه به شدت کاهش دهد. در این فناوری، فرآیند پاک‌سازی تحت نظارت قرار می‌گیرد و جریان برگشتی سیالات غیرمخزنی اندازه‌گیری می‌شود. با کمک این محصول، گذر از شورابه به تولید نفت و گاز به وضوح شناسایی شده و نیتروژن لیفت متوقف می شود تا هزینه‌ها کاهش یابد و از فلاش شدن مخزن جلوگیری شود.

از مزایای کاهش مدت زمان پاک سازی می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

- عدم باقی‌ماندن شورابه
- صرفه‌جویی در استفاده از دکل حفاری
- بهبود سابقه تولید
- اطمینان از تفسیر درست نتایج چاه‌آزمایی

در پایان می توان با اشاره به کاربردها و مزایای استفاده از جریان سنج چندفازی در مقایسه با تفکیک گر های آزمایشی سه فاز، اعم از مزایای اقتصادی و عملیاتی تا مسائل ایمنی و زیست محیطی، به توجیه اهمیت تجاری سازی این محصول و همچنین توسعه این فناوری به چاه های گازی پرداخت که در اولویت برنامه های تحقیق و توسعه این شرکت قرار گرفته است.





GENERAL		
Configurations	Spool-Piece Inline Permanent Installation, Skid-Mounted Relocatable/Mobile MPFM, Truck-Mounted Service MPFM Package, Multi-size Venturi Option	
Sour Service Specification	NACE MR0175/ISO15156	Wetted Parts
METER BODY and STRUCTURE		
Inlet Pipe Size	2 to 6-inch	
Interface Connections	ANSI Flange/Wing union	
Venturi Tube	Comply with ISO 5167-4	
Venturi Beta Ratio	0.4 to 0.6	
Wetted Material	SS316L	
OPERATING RANGE		
Design Pressure	0-3000 psi (5000 psi Option)	
Design Temperature	-20-120°C (Wider Range Option)	
Ambient Temperature	-20-55°C (Wider Range Option)	
Water cut Measuring Range	0-100%	
Gas Volume Fraction Range	0-98%	
Liquid Flow Rate	Refer to VG Operating Envelope	
Oil Viscosity	0.01-2000cp	
TRANSMITTERS		
Transmitters	Differential Pressure, Pressure and Temperature (MVT Option)	
Connection	Impulse Tubing/Capillary/Isolated Valve (Thermowell Coupled TT)	
Communication	4-20 mA HART	
Calibrated Range	0-5000 mbar DPT, 0-270 bar PT, -20-150°C TT	
Wetted Material	SS316L	
Certification	EEx ia IIC T4/T5/T6	
GAMMA DENSITOMETER		
Radiation Source	Cs-137 (<10 mCi)	
Source Container	GAMMSHIELD, Complies with IEC 62598	
Gamma Detector	GAMMEX-II, High Sensitivity & Temperature Controlled Scintillation ATEX Ex-d (Explosion Proof according to EN60079-0 & EN60079-1)	
Radiation Leakage	< 1 μSv/h @1m Distance (Class7, IEC 62598)	
WATER CUT METER		
Measuring Technique	Impedance/Resonance Wide-band Spectroscopy	
Water cut Probe Body Material	SS316L	
Certification	ATEX Ex-ia (Intrinsic Safety according to EN60079-0 & EN60079-14)	
COMMUNICATION		
Local Field Display	HMI Option	
Operator PC to Meter	MODBUS TCP (Wireless Option)	
Remote Access to Meter	MODBUS TCP/IP (Remote Access Option)	
POWER SUPPLY		
Supply Voltage	20-30 VDC (24VDC Nominal)	
Power Consumption	Max. 120 W	

مدیریت دانش، رکن کسب و کار

دکتر پریسا حاجی محمدی
مدیر اجرایی شرکت توسعه بازرگانی بین المللی آرتین تجارت پایا

مدیریت دانش به عنوان فرآیند ایجاد، شناسایی و مدیریت یک سازمان و ساختاردهی آن برای استفاده مؤثر و کارآمد در میان کارکنان و تیم‌های آن تعریف می‌شود.

مدیریت دانش امروز چیست؟ مدیریت دانش و ارتباط رو به رشد آن با فرآیندهای مختلف کاری، بهترین شیوه های استراتژی و روندها برای شرکت ها، سازمان ها و کسب و کارهاست.

سازمان ها باید حجم عظیمی از داده ها را در دنیای دیجیتال امروزی مدیریت کنند تا تصمیمات بهتری بگیرند. این امر مستلزم تلاش زیادی است تا اطمینان حاصل شود که داده ها دقیق، بروز و به راحتی برای کسانی که به آن نیاز دارند قابل دسترسی است. برای مدیریت این نوع فرآیند و استفاده حداکثری از همه آن داده ها که قطعاً در بسیاری از صنایع استفاده بهینه از پیشینه داده ای شرکت ها آینده ای روشن را تضمین می کند، کسب و کارها به راه حل های مدیریت دانش روی می‌آورند. مدیریت دانش راهی برای جمع‌آوری و استفاده بیشتر از اطلاعات است.

مدیریت مؤثر دانش اکنون بیش از هر زمان دیگری مهم است. طی چند سال گذشته، تحولات جهانی و ناکارآمدی ها، خطرات و شکاف های دانشی را برای بسیاری از سازمان ها آشکار کرده است.

در نتیجه، آگاهی و نیل کسب و کارها به افزایش آگاهی در بازار رو به رشد است و ۶۰٪ از متخصصان مدیریت دانش که مورد بررسی قرار گرفته اند، گفته اند که در حال حاضر این مسیر را در حال پیشرفت یا در حال افزایش می دانند. علاوه بر این، دو سوم نیزگفته اند که سازمان ها قصد دارند در ۱۲ تا ۱۸ ماه آینده تمرکز خود را بر مدیریت دانش افزایش دهد.

از جمله مزایای کلیدی مدیریت دانش و ابزارهایی که آن را برای شما مفید می‌سازد، این است که بیشتر می‌آموزید و این خود قدم مهمی در توسعه فردی شماست تا چه رسد به رونق کسب و کار که ایجادخلاقیت در کسب و کارتان نیز اولین روزنه امیدواری است.

ویژگی‌های زیادی وجود دارد که باعث می شود فرد در کسب و کار و کارآفرینی پیشرفت داشته باشد که صد البته تمایل به یادگیری مهارت‌های جدید با نگرش باز در تجارت بسیار مفید هستند و این بخشی از مدیریت دانش در کسب و کار است.

دانش مایه حیات هر شرکتی است. بدون کسب دانش، تصمیم گیری، درس گرفتن از اشتباهات و توسعه محصولات جدید برای شما دشوار خواهد بود. مدیریت دانش رویکردی است که ممکن است برای جذب، سازماندهی و به اشتراک گذاری دانش شرکت خود با ذینفعان داخلی و خارجی اتخاذ کنید.

مدیریت دانش مفهومی جدید نیست فقط چند سالی است که به آرامی در دنیای کسب و کار و دانشگاه در حال توسعه است. فن‌آوری‌های جدید و روشی که ما اطلاعات را ذخیره می‌کنیم، نحوه عملکرد ابتکارات مدیریت دانش را تغییر می‌دهد.

راه اندازی یک سیستم مدیریت دانش موفق آسان نیست و باید متناسب با نیازها و شرایط منحصر به فرد مربوط به کسب و کار شما باشد. شما باید درک خوبی از نحوه ساختار سیستم خود، موانع احتمالی که بر سر راه شما هستند و مؤثرترین ابزارهایی که شما را قادر به پیاده سازی سیستم خود می کند به دست آورید.

مدیریت دانش فرآیندی است که به جای اینکه دانش را در اختیار افراد معدودی قرار دهید آن را برای همه اعضای تیم خود در دسترس قرار می‌دهید و شرکت ها می توانند با استفاده بهتر از دانش موجود در حوزه خود به راحتی به اهداف خود دست یابند. فرهنگ یادگیری مستمر توسعه می یابد و دانش آزادانه در سراسر سازمان جریان می یابد.

دانش صریح اطلاعاتی است که می تواند کدگذاری شود و انتقال یابد. به اشتراک گذاری این نوع دانش آسان است و می تواند به سرعت توسط دیگران آموخته شود. برخی از انواع دانش صریح عبارتند از رویه های عملیاتی استاندارد، کتابچه های راهنمای کارمندان و خط مشی های منابع انسانی که بصورت علنی در شرکت ها و سازمان ها قابل مطالعه است.

اما به دست آوردن دانش ضمنی بسیار دشوارتر از دانش صریح است. معمولاً شامل مهارت‌ها و تجربه‌های کارمندان شما می‌شود که توضیح یا به اشتراک گذاشتن آن با دیگران نیاز به ایجاد محدودیت های دسترسی دارد. دانش ضمنی شامل دانش چگونگی پشتیبانی از مشتری، مهارت های طراحی محصول و بطور خاص موارد مهم مربوط به شرکت شما است.

این دانش را که بواسطه مسیری که در کسب و کار گذرانده‌ایم، روشن شده است را می‌توان مدون کرد. اینها اطلاعاتی است که در فرآیندهای سازمان تعبیه شده و در حال حاضر بیان نشده است. این دانش درون سازمانی است که می توان آن را آموخت و مختص این کسب و کار است.

بدون مدیریت دانش، کنترل جریان اطلاعات در سازمان شما غیرممکن است.فقدان سیستم های مدیریت اطلاعات نیز کارکنان آگاه و خلاق را تحت فشار بیشتری قرار می دهد. در بیشتر موارد، اعضای تیم شما از آگاه ترین همتایان خود کمک می گیرند. اما، این بدان معناست که کارمندان ماهر زمان زیادی را صرف کمک به دیگران می‌کنند که می‌تواند باعث کاهش بهره‌وری آنها شود که با یک سیستم مدیریت دانش خلاقیت بیشتری در سازمان براه می افتند.

به جای تکیه بر یک سیستم بدون ساختار، مدیریت اطلاعات به شما این امکان را می‌دهد که نحوه جریان دانش در شرکت خود را کنترل کنید. به عبارت ساده، یک سیستم خوب تضمین می کند که اطلاعات در صورت نیاز در دسترس کسانی قرار گیرد که برای بهبود کار و سودآوری بنگاه اقتصادی، به آن نیاز دارند.

همچنین صرف نظر از صنعت، شرکت شما باید بزرگترین منبع اطلاعات در مورد محصول خودتان باشد. مدیریت داده ها به شما امکان می دهد اطلاعات ارزشمندی را از منابع مختلف دریافت کنید. سپس، می‌توانید مقالات، ویدیوها و منابع مشابهی ایجاد کنید که به کاربران در حل مشکلاتشان کمک کند.

معرفی دستاوردهای مغفول شرکت پایندان در پروژه فاز ۱۴ پارس جنوبی (بخش اول)

چگونه یک نرم‌افزاربومی مدیریت پروژه در کارگاه فاز ۱۴ تکامل یافت؟

محسن سخایی
خبرنگار حوزه انرژی

وقتی برای تهیه گزارش از اقدامات انجام شده در فاز ۱۴ پالایشگاه گازی پارس جنوبی توسط شرکت پایندان، عازم عسلویه شدیم، تصور می‌کردیم باید شنونده گلایه‌های دست‌اندرکاران عملیات اجرایی شرکت در کارگاه پایندان از کمبودها، نارسایی‌ها و مشکلات به وجود آمده در مسیر اجرای پروژه باشیم.

توقع داشتیم مدیر کارگاه از مشکلات و کمبودهایی صحبت کند که در مواقعی کارگاه را تا مرحله توقف عملیات اجرایی نیز پیش برده بود. کمبود قطعات، در دسترس نبودن نقشه‌های اجرایی برخی تجهیزات،عدم تامین به موقع منابع و دهها مانع و مشکلی که این روزها در مسیر اجرای پروژه‌های کشور به ویژه طرح‌های کلان بروز می‌کند .

اما زمانی که با مهندس رستمی مدیر کارگاه پایندان در فاز ۱۴ عسلویه به گفتگو نشستیم تنها سخنی که نشنیدیم، گلایه و شکایت از نارسایی‌ها بود. پس از صحبت‌های اولیه و بیان اینکه به چه هدفی به کارگاه شرکت

رفته‌ایم، رشته کلام را به مدیر کارگاه سپردیم و از او خواستیم ضمن تشریح روند اجرای پروژه ،بیش از هر موضوعی به چالش‌هایی اشاره کند که در مسیر اجرای پروژه با آنها روبرو شده‌اند و چگونه با اعتماد به دانش، پشتکار و همت متخصصین جوان و عمدتاً بومی منطقه و حمایت و پشتیبانی از آنها، موفق به پشت سر گذاشتن این چالش‌ها شده‌اند.

وقتی صحبت از بهره‌گیری از متخصصین بومی در پروژه فاز ۱۴ از طرف شرکت پایندان به میان آمد، مهندس رستمی به بهره‌گیری از نرم‌افزاری اشاره کرد که کاملاً بومی بوده و برای اولین بار در مگاپروژه‌ای همانند پالایشگاه گازی فاز ۱۴ مورد استفاده قرار گرفته است. مدیر کارگاه پایندان در فاز ۱۴ روایت کرد که چگونه با اعتماد مدیران شرکت به دو کارشناس جوان و بومی زمینه ارتقا، بهینه سازی و تکامل یک نرم‌افزار کوچک و طراحی شده برای تسهیل در کارهای اجرایی یک پروژه محدود، فراهم گردیده و برنامه نویس بومی و خلاق نویسنده نرم‌افزار و همکار دیگرش به پیشنهاد مدیران پایندان اقدام به ثبت شرکت نموده و با عقد قرارداد رسمی به عنوان پیمانکار شرکت پذیرفته شده اند، سپس به آنان این امکان داده شده که با در اختیار گرفتن اطلاعات بخش‌های مختلف پروژه و با بهره‌گیری از همکاری تمامی دست اندرکاران اجرای پروژه در کارگاه شرکت پایندان در فاز ۱۴، اعتماد به نفس لازم جهت ارتقا و تکامل نرم افزار خود را به دست آورند.

در حالیکه مهندس رستمی با اشتیاق فراوان از مراحل مختلف ارتقاء و کامل شدن نرم‌افزار بومی کارا سخن می‌گفت به نظرمان رسید بهتر است ادامه این روایت را از زبان دو کارشناس جوان موسس شرکت کارا بشنویم.

پای صحبت فناوران بومی

با هماهنگی مدیر کارگاه و علیرغم آنکه آقایان رحمانی و زراسوند، موسسین شرکت تولید کننده نرم افزار بومی کارا با پایان قرارداد همکاری خود در کارگاه شرکت پایندان حضور نداشتند، دعوت ما را پذیرفتند و برای گفتگوی کامل و با جزئیات بیشتر در مورد روند تولید و ارتقاء نرم‌افزار کارا به جمع ما اضافه شدند.

ابتدا مهندس زراسوند به بیان چگونگی ورودش به پروژه‌های صنعت نفت پرداخت و گفت: اولین پروژه‌ای که در این حوزه وارد شدم پروژه خط لوله عسلویه- کنگان بود و در همین زمان با مفهوم مدیریت با سیستم‌های نرم‌افزاری آشنا شدم. در آن مقطع عمدتاً مدیریت به صورت سنتی و دستی انجام می‌شد و این نوع مدیریت باعث بروز مشکل در مراحل مختلف اجرای پروژه‌ها می‌گردید،در دیگر پروژه‌های بزرگ هم که مشغول فعالیت شدم همگی معضل مدیریت دستی و مشکلات ناشی از آن را داشتند، زیرا مدیریت به صورت جزیره‌ای انجام می‌شد و مدیران برای اطلاع از کم و کیف مراحل اجرایی پروژه دچار مشکل کمبود اطلاعات جامع و کامل بودند، در واقع برای آگاهی از اطلاعات مربوط به پروژه باید اسناد، مدارک و اطلاعات کلیه واحدها به صورت جداگانه جمع آوری و بررسی می‌شد. وقتی حجم زیادی از اسناد را در این قبیل پروژه‌ها مشاهده می‌کردم و می‌دیدم که برای تولید این اسناد و مدارک نیاز به تعداد زیادی نیروی کار ونیز صرف زمان فراوان است، این ایده در ذهنم شکل گرفت که می‌توان این کار را با استفاده از نرم‌افزار نیز انجام داد.

این ایده و به دنبال آن آشنایی با مهندس رحمانی که در زمینه برنامه نویسی تخصص داشت و در پروژه‌هایی که فعالیت کرده بود به فراخور شرایط و جهت تسریع در انجام اموری که به عهده ایشان سپرده می‌شد، اقدام به طراحی نرم‌افزهایی کرده بود، زمینه همکاری مشترک ما در راستای تولید نرم‌افزار مدیریت پروژه بنام "نرم افزارکارا" فراهم گردید. وقتی در سال ۹۳ توسط شرکت پایندان دعوت به همکاری شدیم برای آشنایی با جزئیات کار و نوع اطلاعاتی که مدیران پروژه به آن نیاز داشتند، مهندس رحمانی که مسئولیت برنامه نویسی را بر عهده داشت در کارگاه شرکت پایندان در پروژه فاز ۱۴ مستقر شد تا با شناخت دغدغه‌ها و نیازهای واقعی مدیریت پروژه، نرم‌افزار را به مسیر رفع این نیازها برده و بتوانیم مراحل اجرا و اسناد پروژه را مدیریت کنیم و پاسخگوی نیازهای مدیران پروژه هم باشیم. این حضور بدان جهت اهمیت داشت که عمدتاً در اجرای پروژه‌های کلان توجهی به مستندسازی و جمع آوری اطلاعات مدیریت و اجرای پروژه نمی‌شود و برای دستیابی به اطلاعات مربوط به نحوه اجرای پروژه‌ها باید در پروژه حضور پیدا کرد.

باید به این نکته اشاره کنم که امکان حضور در کارگاه پروژه جهت دستیابی به اطلاعات آن هم همزمان با پیشرفت پروژه به کمتر برنامه نویسی داده می‌شود، تحقق این امر نیازمند اعتماد و اعتقاد مدیران پروژه به ضرورت بهره‌گیری از علم روز برای پیشبرد پروژه‌هاست که مدیران شرکت پایندان این اعتماد را به شرکت تازه تاسیس " کارا" نمودند و با فراهم کردن امکان دسترسی ما به اطلاعات بخش‌های مختلف و همکاری دست‌اندرکاران اجرای پروژه به ما برای انجام کارهای بزرگتر اعتماد به نفس داد و دید بازتری نسبت به پروژه پیدا کردیم. شما وقتی وارد مگاپروژه می‌شوید با انبوهی از اطلاعات و اسناد روبرو هستید، مثلاً در یک پروژه ۲۴۰۰۰ رکورد مدرک دارید که شامل دستورالعمل‌های کاری، اطلاعات ریز اقلام کالایی، نحوه اجرا و استانداردهای متعدد مورد نیاز در مراحل مختلف اجرای پروژه می‌باشد.

بر اساس این مدارک باید طراحی مراحل اجرایی پروژه انجام شود، در واقع صفر تا صد اجرای پروژه باید لیست شود و مدارک آن تهیه و در دسترس مدیران قرار گیرد که در این بین مسیر اجرای هر بخش از پروژه دارای استانداردهایی است که الزاماً باید رعایت شود و نمی‌توان مرحله‌ای از پروژه را سرخود و بدون رعایت استاندارد مورد نظر آن بخش اجرا کرد.

با حضور در پروژه، زیرساخت دریافت اطلاعات کارهای انجام شده روزانه و خوراک اجرا را تولید کردیم، معمولا پروژه‌ها در مرحله اجرا به دو بخش فنی و کنترل پروژه تقسیم می‌شوند که بخش فنی زیرساخت‌ها و پایه‌های اجرا را برنامه‌ریزی می‌کند ،اجرا را ارنج می‌کند و جبهه کاری برای اجرا تعریف می‌کند و بخش کنترل نیز بر اساس اسنادی که در برنامه MDR تعریف می‌شود، پروژه را جمع آوری یا کنترل می‌کند و در نهایت به فاینال بوک پروژه منجر می‌شود که با آن پروژه را تضمین می‌کنند.

طبیعتاً اولین بخش در اجرای پروژه بخش نقشه برداری، تسطیح، کنده کاری‌های مربوط به زیرساخت و اجرای سازه‌هاست، سپس مرحله سیول، استراکچر مکانیکال و بعد از آنها پایپینگ و به دنبال شروع پایپینگ مرحله برق و ابزار دقیق به میان می‌آید و بخش‌های بعدی پروژه که در پروژه فاز ۱۴ از مرحله پایپینگ و ابزار دقیق نرم‌افزار کارا مورد استفاده قرار گرفت.

نرم افزار بومی برای پروژه ملی

در ادامه گفتگو از مهندس رحمانی پرسیدیم نرم‌افزاری که برای مدیریت پروژه طراحی کرده‌اید، کپی شده از یک نرم‌افزار خارجی است یا بر اساس نیازهایی که در اجرای پروژه‌های داخلی احساس کردید، برنامه‌ریزی و طراحی شده است؟ مهندس رحمانی با قاطعیت عنوان کرد که نرم‌افزار، طراحی نیروهای بومی شرکت کارا است و نمونه

خارجی ندارد.
وی در ادامه به منحصر بفرد بودن نرم‌افزار مدیریت پروژه کارا اشاره کرد و گفت: با توجه به عدم وجود چالشی تحت عنوان تامین کالا (که در حال حاضر مهمترین چالش پروژه‌های بزرگ کشور ماست) درکشورهای دیگر نیازی به طراحی و استفاده از چنین نرم افزاری حس نشده است، اما در کشور ما بعضاً تجهیزات مربوط به پروژه‌ها به صورت تکه تکه وارد شده و مشخص نیست هر قطعه مربوط به کدام بخش از پروژه است. خصوصاً در پایپینگ این مشکل خود را بیشتر نشان می‌دهد زیرا در بقیه بخش‌ها قطعات جایگاه مشخصی دارند. در سیویل هم مشکل چندانی نداریم چون قطعات مورد نیاز این بخش هم تولید داخل هستند، اما در پایپینگ چون قطعات پراکنده هستند و شناسنامه هم ندارند و در مواقعی ۵۰۰ قطعه یکسان داریم که هر یک مربوط به یک بخش از پروژه است، لذا وجود این مشکل استفاده از این نرم‌افزار را در پروژه‌های بزرگ داخل کشور با اهمیت کرده است.
وی سپس به تشریح ایده اولیه طراحی این نرم‌افزار پرداخت و گفت: زمانی در پروژه‌ای به کاری غیر از برنامه نویسی مشغول بودم. در آن مقطع مدیر بخشی که در آن کار می‌کردم مرا به دلیلی تنبیه کرد و مقرر نمود که کار پرحجمی را انجام دهم، اما چون برنامه نویسی بلد بودم نرم‌افزار کوچکی را طراحی کردم تا کاری را که مجبور به انجام آن شده بودم در مدت زمان کمتری انجام دهم (کاری که یک نیروی کار می بایست در یک روز کاری انجام دهد با آن نرم‌افزار در یک ساعت انجام دادم) این اتفاق استارت اولیه تولید این نرم‌افزار بود، چون در مقطعی مدیر ما به بن‌بستی خورده بود که حجم زیادی از قطعات را در اختیار داشت اما نمی‌توانست از آنها استفاده کند، چون نمی‌دانست این قطعات مربوط به کدام بخش از پروژه است. از طرفی حجم این کالاها آنقدر زیاد بود که بررسی دستی و سنتی قطعات حدود ۴۵ روز زمان نیاز داشت، آن هم به شرطی که در طول این مدت نه کالایی به این مجموعه اضافه شود و نه قطعه‌ای از آن کم شود. لذا در عمل امکان استفاده از این کالاها وجود نداشت. با ذهنیتی که مدیر واحد از من در زمینه طراحی نرم‌افزار برای انجام کارهای خودم داشت، پیشنهاد کرد با در اختیار گرفتن اطلاعات مربوط به پروژه نرم‌افزاری برای بکارگیری قطعات بلا استفاده مانده طراحی کنم.
پس از دریافت اطلاعات پروژه و قطعات موجود، در مدت ۲۴ ساعت نرم‌افزاری طراحی کردم که با ۳۰ درصد خطا قطعات موجود را در پروژه جایگزین می‌کرد و برای اولین بار بود که با نرم‌افزار این کار صورت می‌گرفت .هرچند در همان پروژه نرم‌افزار

دیگری هم بود که فقط کارگاه را مدیریت می‌کرد و بخش سایت با آن نرم‌افزار امکان مدیریت نداشت، امامن نرم‌افزاری را برای مدیریت سایت نوشتم و این برای اولین بار اتفاق می‌افتد که در آن مقطع مدیران شرکت فوق با تردید به امکان جواب دهی نرم‌افزار در بخش سایت نگاه می‌کردند.

نقش شرکت پایندان در تکامل نرم افزار بومی

مهندس رحمانی سپس به تاثیری که حضور در پروژه شرکت پایندان در فاز ۱۴ برای ارتقا و بهینه‌سازی نرم‌افزار کارا داشته است، اشاره و خاطرنشان کرد زمانی که در قالب شرکت " کارا" وارد پروژه شرکت پایندان در فاز ۱۴ شدیم، نرم‌افزاری که برای یک پروژه کوچک طراحی و آماده شده بود، در این مگا پروژه با حجم زیادی از کار و دیسیپلین بسیار زیاد حاکم بر این قبیل پروژه‌ها روبرو شد. شرایط به گونه‌ای بود که در ابتدای استفاده از نرم‌افزار در پروژه گاهاً تا ۲۴ ساعت زمان نیاز بود تا نرم افزار خروجی بدهد، پروژه را بررسی کند، متریال را اختصاص دهد و کار را راه بیندازد یعنی زمان پردازش اطلاعات بیش از یک روز طول می‌کشید، اگر هم با اشکالی مواجه می‌شدیم یک روز کار پروژه به تاخیر می‌افتاد که این مسائل می‌توانست دلیل موجهی برای چشم پوشی مدیران پروژه از نرم‌افزار باشد، اما مدیران شرکت پایندان حمایت خود را از طراحان نرم‌افزار تا جایی ادامه دادند که توانستیم نرم‌افزار را بهینه کرده و جوابگوی نیاز پروژه باشیم. ثمره این پشتیبانی و پذیرش ریسک بهره‌گیری از دانش و توان کارشناسان بومی در مجموعه پایندان این شد که در پایان همکاری شرکت " کارا " در پروژه فاز ۱۴ زمان پردازش ۲۴ساعته به نیم ساعت کاهش یافته بود. همچنین در سایه این اعتماد و حمایت مدیران پروژه شرکت پایندان در فاز ۱۴ هوش مصنوعی مورد استفاده در نرم‌افزار را ارتقا داده و بهینه کردیم و فهم برای آن تعریف نمودیم . این نرم‌افزار در حال حاضر به چنان بلوغی رسیده است که حدود ۴ سال است نیازمند به روز رسانی هم نشده است.
مهندس رحمانی یادآوری کرد که طراحی و بهینه‌سازی این نرم‌افزار در شرایطی حاصل شده است که با وجود تحریم های ظالمانه امکان دسترسی متخصصین ایرانی به نرم‌افزارهای روز دنیا عملاً وجود ندارد و در این شرایط خاص نرم‌افزاری تولید کرده ایم که از پروژه pdms را می‌گیرد و خود نرم‌افزار دیتا اینتری و جوینت گذاری انجام می‌دهد و با کمک یک کاربر این اطلاعات بر روی pdfها منتقل می‌شود، در واقع ما به سطحی رسیده‌ایم که نرم‌افزار اطلاعات روی pdms را می‌گیرد، پردازش می‌کند، ورود اطلاعات انجام می‌دهد، دیتاها که آماده شد یک موجودی انبار لازم دارد که فرانت بگیرد و وقتی فرانت گرفت دقیقاً مشخص می‌کند که در چه نقطه‌ای از پروژه باید با کدام متریال چه کاری انجام داد.
مهندسین خلاق و بنیانگذاران شرکت دانش بنیان " کارا صنعت " در پایان این گفتگو بار دیگر از حمایت و اعتماد مدیران شرکت پایندان قدردانی نموده و ارتقا و بهینه‌سازی نرم‌افزار مدیریت پروژه کارا را حاصل این حمایت قلمداد کردند.

«کارا» سامانه هوشمند همراه مدیران برای کنترل پروژه

مهندس غلامعلی رحمانی - مهندس کمال زراسوند
شرکت کارا صنعت تیوان هونام

با توجه به حجم بسیار زیاد فعالیت های اجرایی در مگا پروژه ها و با عنایت به مسئولیت سنگین حدود ۵۰ درصدی فعالیت های اجرایی فاز ۱۴ توسط شرکت پایندان لازم می بود جهت مدیریت پروژه، کنترل متریال دریافتی، بهینه سازی بکارگیری متریال در واحد های دارای اولویت بالاتر براساس توافقات صورت گرفته با مجری طرح، لزوم شناسایی کسری کالا برای واحدهای دارای اولویت در کمترین زمان، شناسایی فرانت های اجرایی موجود براساس متریال موجود و.... ما را بر ان داشت تا نسبت به کارگیری نرم افزاری جامع بمنظور بهبود فرایندهای فوق اقدام گردد. لیکن متاسفانه تاکنون در بخش نرم افزاری عموماً شرکت های فعال در این حوزه ، در بخش صنعت نقش چندانی نداشته و آن دسته از نرم افزارها نیز که فعال بوده‌اند بیشتر در بخش انبار متریال و کنترل آن و یا بخش مدارک و کنترل اسناد به بلوغ نسبتاً مناسبی رسیده بودند.

در این راستا شرکت پایندان جهت کنترل فعالیت های مهندسی و کنترل کیفی، بالاخص پیش بینی فعالیت های قابل انجام بمنظور تامین شرایط اجرای (شامل ماشین آلات، نیروی انسانی متخصص متناسب با فعالیت پیش رو، متریال مصرفی مورد نیاز انجام فعالیت‌های پشن ساخت از جمه داربست بندی و ...) کاهش نیروی انسانی در واحدهای ستادی با استفاده از جایگزینی نرم افزار مناسب، کاهش خطای انسانی و زمان شناسایی و عملیاتی نمودن فعالیت ها که همگی منجر به کاهش هزینه و بالانس مناسب مالی خواهد شد، اقدام به پرورش و همکاری با نرم افزاری نمود که پیشتر در حوزه‌های معمولی عنوان شده فعالیت کرده بود.

نرم افزار کارا چگونه کار می‌کند؟

هسته این سیستم بر پایه html یا صفحات وب با تکنولوژی پیشرفته .net طراحی شده است و از پایگاه داده SQL Server استفاده شده است. تیم مجرب برنامه نویسی کارا علاوه بر موارد مذکور با استفاده از هوش مصنوعی امنیت پایگاه داده را در برابر هر گونه هک و حملات پیچیده تضمین می کند.

سطوح دسترسی در این سیستم به شکل متنوعی طراحی شده است و با استفاده از پنل های مدیریتی این نرم افزار میتوان سطح دسترسی کاربران را به هر فرم، گزارش یا جدول و برای چهار عملیات اصلی که شامل ثبت، ویرایش، حذف و مشاهده می باشد را در قالب کارگروه تعریف نمود، سطوح دسترسی به صورت پویا بوده و به سادگی قابل افزایش، کاهش یا اصلاح می باشد.

این نرم افزار به گونه ای طراحی شده است که هر کدام از کاربران کارتابل، منو و فرآیند کاری مختص به خود را داشته باشند، ادمین سیستم به سادگی توانائی مدیریت و خصوصی سازی منوها را برای هر کاربر یا گروه دارا میباشد. علاوه بر این نرم افزار توانایی بررسی عملکرد کاربران، واحدها و تمامی فعالیت ها را با توجه به ریز عملیات انجام شده دارد.

این نرم افزار چه فرایندهایی از پروژه را پوشش می دهد؟

این نرم افزار چهار فرایند اصلی در روند اجرایی هر پروژه شامل مهندسی، مهندسی خرید، اجرا و مدیریت پروژه را در بر می گیرد. همانگونه که در شکل شماره یک نشان داده شده است، این چهار فرایند اصلی زیر شاخه هایی دارند که این نرم افزار برای هر یک از این زیر شاخه ها نیز با طراحی فرم، گزارش ویا جداول مرتبط، امکان ثبت، ویرایش و اصلاح اطلاعات را فراهم کرده و با طراحی پنل های مدیریتی سطوح دسترسی را نیز

مجموعه‌هایی که می‌تواند از بخش‌های مختلف این نرم‌افزار استفاده نمایند	مهندسی		مهندسی خرید						اجراء									مدیریت پروژه			
	مرکز اسناد	طراحی و مهندسی	مدیریت بازرسی کالا	مدیریت خرید کالا	تشریح فنی	حمل و نقل	انبار	مرکز اسناد سایت	دفتر کنترل کیفی	دفتر فنی سوول	دفتر فنی پایپینگ	دفتر فنی مکانیکال	دفتر فنی برق و ابزار دقیق	رنگ و عایق	ثبت پکیج	تجویه	پیش راه اندازی	قراردادها، کنترل هزینه	کنترل پروژه	مدیریت سایت	مدیریت پروژه
کارفرمایان و سرمایه‌گذاران	•																	•	•		
شرکت‌هایی که تمامی فرایند EPC را بر عهده دارند	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
شرکتهای مهندسی و طراحی	•	•																•	•		
تامین کنندگان کالا	•		•	•	•	•	•											•	•		
شرکتهای مشاور	•							•	•									•	•		•
شرکتهای بازرسی			•					•	•									•	•		•
شرکتهایی که فرایند ساخت را مدیریت مینمایند							•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•
پیمانکاران بخش اجرایی							•	•	•	•	•	•	•	•	•	•		•	•		•

شکل شماره یک

مشخص کرده است.

۱- مدیریت پروژه Project Management

کنترل پروژه - ارتباط مستقیم نرم افزار با داده های کنترل پروژه بخش مهمی از فعالیت این سیستم میباشد ، خروجی های پویای نرم‌افزار کارا، داده های مورد نیاز واحد کنترل پروژه برای صدور انواع گزارشات روزانه، ماهانه، دوره‌ای و... در طول اجرای پروژه، برای تمامی دیسیپلین ها تضمین می‌نماید.

قراردادها، کنترل هزینه

یکی از مزایای یکپارچگی و تسریح فرآیند اسنادی پروژه ، مدیریت هرچه آسانتر قراردادها و پیمانکاران میباشد، مجموع فعالیت های ریز انجام شده در سیستم بصورت گزارشات کنترل کیفی ، موجب به روز بودن داده های مربوط به فعالیت اجرائی پیمانکاران در تمامی سطوح میگردد.

مدیریت سایت

کنترل و مدیریت جبهه‌های کاری، اجرایی و پیمانکاران ارتباط نزدیکی با فرآیند اسنادی کارگاه دارد، نرم افزار کارا به گونه ای طراحی شده است که بتواند تمامی فعالیت های در حال انجام پروژه را با نگاهی بالادستی در اختیار مدیریت کارگاه قرار دهد. اشراف کامل در این امر موجب تسریع فرآیند تصمیم گیری میگردد.

مدیریت کلان پروژه Whole Project Management

نرم افزار کارا به مدیران پروژه ها این امکان را می دهد که بدون محدودیت زمانی و مکانی به کلیه اطلاعات و گزارشات یک یا چند پروژه در حال اجرا دسترسی یابند. بکارگیری این سیستم در پروژه کمک مهمی در راستای مدیریت کلان این صنعت می باشد.

۲- مهندسی Engineering

بهره گیری از نرم افزار کارا در این بخش موجب تسریع و سهولت دسترسی تمامی واحدهای پروژه به آخرین نسخه از مدارک مربوطه، کامنت ها، وضعیت مدارک و ... خواهد شد. این ماژول زیرساخت مورد نیاز محاسبه درصد پیشرفت تولید مدارک پروژه را فراهم می‌نماید و گزارش هایی از قبیل پیشرفت بر اساس گروه کاری، منطقه و ... در اختیار مدیران قرار می‌دهد.

مرکز اسناد Document Control Center (D.C.C)

تاکید کارفرمایان صنعت نفت و گاز بر اهمیت نظم و ساختار اسناد پروژه، بخش مرکز اسناد را به یک زیرساخت ضروری و استراتژیک برای کلیه پروژه های صنعتی تبدیل نموده است. نرم افزار کارا نیز با ارائه سیستم کارآمد مرکز اسناد خود که وظیفه مانیتورینگ و هندلینگ چرخه اسناد فنی و مهندسی پروژه را بر عهده دارد، ابزاری مهم را جهت مدیریت و کنترل پروژه در اختیار فعالان این صنعت می‌گذارد. این ماژول توانایی الصاق و دسته بندی تصویر مدارک و پیوست آنها را به همراه درج تاریخ (شمسی و میلادی) دارد، از مزایای این سیستم می توان به قابل دسترس بودن کلیه مدارک در هر کار گروه، ایجاد بایگانی دیجیتال و مدیریت اسناد پروژه اشاره کرد.

انبارها Warehouses

تامین متریال پروژه در شرایط کنونی کشور یکی از پیچیده ترین فعالیت ها در پروژه می‌باشد که این موضوع اهمیت حفظ، تخصیص و استفاده صحیح از متریال را دو چندان می کند.

نرم افزار کارا با استفاده از یکپارچگی خود در فرآیند EPC، دقت بسیار بالایی را در کنترل متریال پروژه دارا می‌باشد. داده‌های این بخش مستقیماً از بخش‌های مهندسی و مهندسی خرید تغذیه شده و با بکارگیری فرآیند خودکار ایجاد جبهه کار در دفاتر فنی، تقریباً کلیه فرآیند تخصیص و تحویل متریال بصورت خودکار انجام می‌گردد.

بهره گیری از سیستم هوشمند بالانس و تخصیص متریال، اهمیت بسزایی در حفظ و استفاده بهینه متریال در سایت خواهد داشت که این امر موجب جلوگیری از هدر رفت متریال و صرفه‌جویی در هزینه‌های پروژه می‌شود.

۳- اجراء Construction

مرکز اسناد سایت Site Document Control Center

یکپارچگی داده‌ها در نرم‌افزار کارا موجب تسریع و سهولت جابجایی و ارسال مدارک بخش مهندسی به سایت و همچنین تسریع روند پاسخگوئی به سوالات مطروحه (TQ) از طرف سایت می‌گردد. این ماژول ضمن تضمین ارائه آخرین رویژن هر مدرک در تمامی سطوح نرم افزار ، کلیه سوابق و گزارشات مربوط به مدارک را در اختیار کاربران قرار می‌دهد.

دفاتر کنترل کیفی QC / QA

در واقع گزارشات پیشرفت پروژه ماحصل فرآیند این بخش می‌باشد که شامل بازرسی و تحویل کار می گردد. احجام کلیه دیسیپلین ها که توسط دفاتر فنی بارگذاری و مدیریت می شود پس از ساخت، نصب یا دیگر فرآیندهای اجرائی بوسیله QC Form ها به تایید بازرسان مربوطه می رسد. به روز بودن فعالیت های این بخش اهمیت بسزائی در کنترل هزینه، پیشبرد و مدیریت کار دارد.

دفتر فنی سیویل Civil T.O

با توجه به اینکه این بخش از اولین دیسیپلین های مستقر در کارگاه می‌باشد، قطعاً مشکلات بیشتری بابت ایجاد روند کار و تجهیز کارگاه پیشرو دارد. این نرم‌افزار با فراهم ساختن زیر ساخت مورد نیاز اسناد کارگاهی همگام با شروع پروژه، موجب تسریع فرآیند تجهیز کارگاه و شروع فرآیند اجراء می گردد.

محاسبه و برآورد دقیق احجام و متریال مصرفی مطابق با محاسبات دفتر فنی، درخواست متریال، ثبت و صدور دستور کار و کنترل پیمانکاران بخشی از خدماتی است که کاربران می‌توان از آن بهره مند شوند. تعریف دسته بندی برای بی نهایت زیر مجموعه و انتخاب ITP اختصاصی برای هر دسته از فعالیت ها، تجربه جدیدی از مدیریت اجرائی کار را در اختیار کاربران قرار میدهد.

ماژول مشترک پایپینگ سیویل ، فرآیندهای UG را از منهول به منهول به سادگی مدیریت میکند و باعث ایجاد هماهنگی ۱۰۰ درصدی فیمابین واحدهای اجرائی میشود. این امر موجب تسریع فرآیندهای خاک برداری تا لوله گذاری ، تست تا بک فیل میگردد.

دفتر فنی پایپینگ Piping T.O

پیشتر در پروژه ها برای مدیریت اسناد مهم این بخش از کار نفر ساعت و زمان بسیار زیادی هزینه می شد، نرم افزار کارا با نگاهی دقیق به این مبحث کلان و خلق راهکارهایی عملی و منحصر به فرد، ضمن تسریع فرآیند کلی اجرائی پایپینگ ، بعنوان بازوی قدرتمند مدیریت کارگاه بشمار میرود.

راهکارهای این شرکت توانسته تا ۹۰٪ از مبحث Data Entry در بخش پایپینگ را حذف و مکانیزه نماید. بطوریکه سرجوش گذاری و ثبت کلیه آیتم های مربوط به آیزومتریک نظیر Iso Detail و MTO بصورت کاملا خودکار انجام می‌شود.

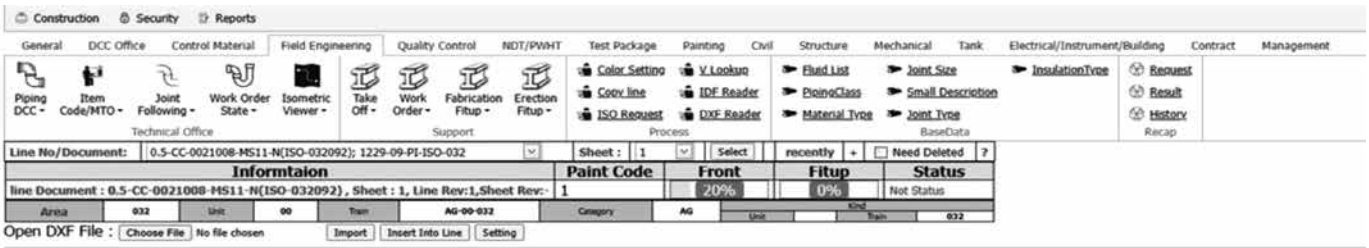
تهیه فرانت خودکار و هدفمند از قابلیت های ویژه این نرم افزار: برای مثال متریال موجود یا موقت (که بوسیله فایل وارد سیستم می‌شود)، مطابق با اولویت مورد نیاز شرکت ، یا هدف از پیش تعیین شده سیستم تهیه می‌گردد، در این فرآیند تمامی جوانب بصورت هوشمند بررسی شده و صرفاً آیتم های خاص به صورت دستی توسط کاربر اصلاح می گردد.

نرم افزار بطور خودکار بالانس متریال فرانت ثبت شده را انجام می دهد و حواله متریال را جهت مراجعه به انبار کالا صادر مینماید، همچنین متریال و اسپول مورد نیاز جهت نصب در سایت کنترل می‌گردد و در انتها خروجی آیزومتریکهای مورد نیاز دستور کار اعلام شده با آخرین رویژن به صورت فایل، ترنسمیتال و پرینت در اختیار کاربر قرار می گیرد. یکی از نکات کلیدی در روند اجرائی کار ثبت تعداد بی نهایت Hold Point با تعریف سیستمی و به صورت توضیحات در مورد سرجوش، خط یا تست پکیج و... می‌باشد.

دفتر فنی مکانیکال Mechanical T.O

مدیریت ساخت و نصب استراکچر - کنترل مدارک دریافتی و ارسالی - بارگذاری کلیه قطعات مربوطه توسط فایل - کنترل ورودی قطعات تولیدی به سایت - درخواست متریال مصرفی - تولید فرانت کاری برای پیمانکاران ساخت و نصب - مدیریت نصب تجهیزات (بارگذاری داده های کلیه تجهیزات ثابت و روتاری) - مدیریت قطعات یدکی (Spare Part) و متعلقات تجهیزات - مدیریت نصب Ladder & Platform و Internal

دفتر فنی برق و ابزار دقیق Electrical & Instrument T.O



PT	Itemcode	Description	QTY	Size
1	PPPPSV1HZA1D2E9:%6	PIPE,SMLS,BE,SCH40,API5LGR.B,ASMEB36.10M	1.4M	6
2	PPPPSP1LZA1D2E9:%3/4	PIPE,SMLS,PE,SCH80,API5LGR.B,ASMEB36.10M	0.3M	3/4
3	PFCRSBZ1H1HA7A2C9:%6%3	REDUCER,CON,SMLS,BW,SCH40,SCH40,ASTMA234GR.WPB,ASMEB16.9	1	6 x 3
4	PF9LSBZ1H1ZA7A2C9:%6	ELBOW,90LR,SMLS,BW,SCH40,ASTMA234GR.WPB,ASMEB16.9	1	6
5	PLFWFD2B1HA6A2B9:%6	FLANGE,WN,FRGD,150#,RF,SF,SCH40,ASTMA105,ASMEB16.5	2	6
6	PLFWFH2B1HA6A2B9:%3	FLANGE,WN,FRGD,300#,RF,SF,SCH40,ASTMA105,ASMEB16.5	1	3
7	PFSCFSQ1Z1ZA6A8W9:%6%3/4	OLET,SOL,FRGD,SW,3000#,ASTMA105,MSSSP-97	1	6 x 3/4
8	PF9DFSQ1Z1ZA6A1G9:%3/4	ELBOW,90D,FRGD,SW,3000#,ASTMA105,ASMEB16.11	1	3/4
9	PFCCFTQ1Z1ZA6A1G9:%3/4	CAP,FRGD,THD,3000#,ASTMA105,ASMEB16.11	1	3/4
10	PGGFZD2Z2BJ5E1M9:%6	GASKET,FR,150#,RF,1.5 MM,METALRING:316/COVERING:FLEXIBLE GRAPHITE,ASMEB16.21	2	6
11	PGGSMH2Z2GJ6C1L9:%3	GASKET,SPW,WIOR,300#,RF,4.5MM,SPIRAL:316,CENTERINGRING:CS/INNERRING:316,FILLER:GRAPHITE,ASMEB16.20	1	3
12	PBBSUGA52J:%3/4%130	130 X 3/4BOLT/NUT,STUD/HEVHEX,FULTHD,ASTMA193GR.B7(CERAMIC)/ASTMA194GR.2H(CERAMIC),ASMEB18.2.1/ASMEB18.2.28		3/4
13	PBBSUGA52J:%3/4%100	100 X 3/4BOLT/NUT,STUD/HEVHEX,FULTHD,ASTMA193GR.B7(CERAMIC)/ASTMA194GR.2H(CERAMIC),ASMEB18.2.1/ASMEB18.2.216		3/4
14	VGDFC12:%6	VG,BB,OS&Y,FLEX-W,CST,150#,RF,FLGD,HO,ASTMA216GR.WCB,API600(TRIMCN8)	1	6
15	VGGSA07:%3/4	VG,BB,OS&Y,SOLID-W,FRGD,800#,SW,HO,ASTMA105,API602(TRIMCN8)	1	3/4
16		PSV-300#RF-150#RF PSV 5179	1	4 x 3

برخورداری از یکپارچگی سیستم در این دیسیپلین نیز بسیار ملموس است ، استفاده از سیستم های کدینگ ، دریافت مدارک ، چرخه اسناد ، انبار ،صدور دستور کار ، بالانس های مختلف و ITP مربوطه تاثیر چشمگیری در مدیریت و سرعت اجرای این بخش دارد.

رنگ و عایق Paint & Insulation

محاسبه پوشش ، سندبلاست ، سطح رنگ و عایق به صورت خودکار و همچنین توانایی ثبت عایق خاص برای قسمتی از خطوط یا تجهیزات و همچنین توانایی ثبت رنگ، متریال مورد نیاز، تنوع رنگی و ضخامت هر لایه از دیگر مزایای این برنامه می باشد.

تست پکیج Test Package & Reinstatement

نقطه همگام سازی تمامی دیسیپلین های اجرائی سایت و به نوعی بخش هماهنگی ، جامعیت داده های اجرائی برای بهره گیری در این بخش بسیار حائز اهمیت است ، نرم افزار کارا استانداردهای جدیدی را در این بخش تعریف نموده است که فرآیند کار اسنادی و برنامه‌ریزی اجرائی را بطور معجزه آسائی هدفمند و مکانیزه می‌نماید.

پیش راه اندازی pre- Commissioning

وجود سیستم یکپارچه در کارگاه ، بخش پیش راه اندازی را از نظر تمامی داده های مورد نیاز تامین مینماید ، لینک تمامی اطلاعات مربوط به تجهیزات ، خطوط ، Special Item ها ، سوابق اسنادی و گزارشات مربوطه در اختیار این بخش قرار میگیرد و در سایر سطوح قابل استناد و استفاده میباشد.

برخی از نوآوری های نرم افزار کارا در حوزه پایپینگ

سیستم هوشمند پیمایش خطوط

کارا با استفاده از هوش مصنوعی خود قابلیت پیمایش تمامی خطوط، از نازل تجهیز تا انتهای لوپ مورد نظر را بر اساس اولویت کاربر (پکیج وایز، لاین وایز و ...) را دارد.

تشخیص ارتباط بین سرجوش ها

کارا با استفاده از هوش مصنوعی به راحتی توانایی تشخیص ارتباط میان سرجوش‌ها و متریال استفاده شده و همچنین تست پکیج مربوطه را دارد، که این امر قابلیت تشخیص جبهه کاری با بالاترین درصد پیشرفت کار را در کمترین زمان ممکن امکان‌پذیر می‌نماید.

رنگ و عایق خطوط

محاسبه پوشش و سطح رنگ به صورت خودکار و توانایی ثبت عایق خاص برای قسمتی از خط و همچنین توانایی ثبت رنگ، متریال مورد نیاز، تنوع رنگی و ضخامت هر لایه از دیگر مزایای این برنامه می‌باشد. کنترل و درخواست متریال، صدور دستور کار برای پیمانکاران مختلف از دیگر مزایای این بخش می‌باشد.

تشخیص ارتباط بین تجهیزات و پایپینگ

کارا به صورت خودکار ارتباط میان تجهیزات را یافته و در هنگام تهیه دستور کار سایت (Field Front) و تکمیل تست پکیج ها تا مرحله Reinstatement و Box up تجهیزات از آنها استفاده می نماید.

اتصال به تجهیزات و اینترفیس های بین کارگاهی به صورت هوشمند:

معرفی تجهیزات سایت با وارد کردن یک سرجوش پایپینگ متصل به تجهیز انجام می‌شود و نرم‌افزار مابقی سرجوش‌ها را از نظر قابلیت انجام کار بررسی می‌کند.

سرجوش گذاری آیزومتریکهای (Piping, Support):

سرجوش گذاری روی نسخه دیجیتال (PDF) انجام می شود و نرم‌افزار بصورت خودکار سرجوش ها را وارد سیستم می نماید.

آیزومتریک ها پس از سرجوش گذاری قابلیت هرگونه تغییرات توسط کاربر را به وسیله ماژول انحصاری کارا دارند و داده هایی نظیر MTO و ... بصورت خودکار در سیستم اصلاح می گردد.

سرجوش هایی که ماهیت نصب دارند (فلنج، بولت ، گسکت و ...) ، دیتای این سرجوش ها در راستای کنترل و نصب متریال مورد استفاده قرار می گیرد.

نمایش متریال دو طرف هر سرجوش در آیزومتریک ها و ثبت آنها در جوینت هیستوری که باعث کنترل دقیق متریال و صدور خودکار گزارشات Material Traceability در پروژه می گردد.

اولین سامانه مدیریت پروژه برق و ابزار دقیق

اولین سامانه مدیریت مهندسی پروژه و کنترل کیفی در بخش برق و ابزار دقیق را در سال ۱۳۹۸ طراحی و با پاسخ خوبی از پروژه استفاده کننده روبرو شده است . با توجه به حجم بالای فعالیت اجرایی در این بخش در شرکت پایندان (بیش از ۲۵۰۰ کیلومتر کابل کشی، ۷۰۰ تن اجرای انواع ساپورت، ۱۰۰ کیلومتر سینی کاری و ...) بنا به درخواست آن شرکت علیرغم عدم وجود نرم افزار داخلی و یا خارجی جهت سیستماتیک و مکانیزه کردن فعالیت های متنوع در این بخش به کمک واحد مهندسی شرکت کارا در بازه زمانی حدود شش ماه اقدام به برنامه نویسی و مکانیزه کردن آن نمودیم. لازم بذکر است سامانه مذکور مشابه سامانه این نرم افزار در بخش پایپینگ قابلیت شناسایی متریال، برآورد کسری متریال، اختصاص متریال براساس اولویت پروژه، براورد فرانت کاری بمنظور پیش بینی الزامات اولیه انجام عملیات و ... برنامه ریزی نموده و قابلیت دریافت خروجی می باشد. این سامانه در حال حاظر با توجه به اتمام پروژه فعال و مشغول تولید مدارک پروژه می باشد.

طراحی و اجرای موفقیت‌آمیز اسیدکاری انتخابی با فناوری توپک‌های انبساطی برای اولین بار در چاه افقی دو حفره‌ای میدان نفتی سپهر جفیر

مهدی روشنی (کارشناس ارشد مهندسی بهره‌برداری شرکت پژواک انرژی)
علی ذرعی فروش (رئیس مهندسی بهره‌برداری شرکت پژواک انرژی)
اشکان سلیمی (مدیر مهندسی نفت شرکت پژواک انرژی)

چکیده

در این مقاله به مطالعه موردی جامع از عملیات اسیدکاری، زنده سازی، تمیز سازی و جریاندهی چاه افقی JR-۰۹، با دو حفره به صورت حفره باز در سازند ایلام میدان نفتی سپهر-جفیر، ایران، توسط شرکت پژواک انرژی می پردازیم. اهداف اصلی شامل کاهش آسیب سازندی، افزایش شاخص تزریق‌پذیری، و بهبود ضریب بهره دهی چاه بود. این عملیات شامل اسیدکاری انتخابی با استفاده از لوله مغزی سیار و توپک انبساطی قابل بازیافت برای تزریق ۵ گالن بر فوت اسید کلریدریک ۱۵٪ (حدود ۱۲۷۱ بشکه) طی ۳۶ ساعت، و اسیدکاری ماتریسی با استفاده از ۱۵ گالن بر فوت اسید کلریدریک ۱۵٪ و ۷٫۵ گالن بر فوت منحرف‌کننده شیمیایی VDA ۱۵٪ (حدود ۲۶۳۷ بشکه) برای افزایش نفوذپذیری بود. با انجام زنده‌سازی با نیتروژن و تمیزسازی در چوک ساز های برنامه ریزی شده، BSW بخوبی کاهش یافت و چاه‌آزمایی با اندازه‌های مختلف چوک (۶۴/۱۶ تا ۶۴/۳۶ اینچ) جهت ارزیابی عملکرد انگیزش چاه مورد استفاده قرار گرفت. همچنین با استفاده از آزمایش‌های آزمایشگاهی و نرم افزارهای شبیه‌سازی، طراحی سیالات و پیمایش چاه با استفاده از لوله مغزی سیار بهینه سازی شد. نتایج نشان‌دهنده افزایش ۲٫۵ برابری شاخص تزریق‌پذیری پس از اسیدکاری انتخابی و افزایش پنج برابری کلی شاخص تزریق‌پذیری پس از اسیدکاری ماتریسی بود. شاخص بهره‌دهی نیز از ۱٫۷۵ به ۸٫۷۲ STB/(D.psi) بهبود یافت و فشار سرچاهی از ۱۷۱ psi (۱۷۹۶ BPD، چوک ۶۴/۳۶ اینچ) به ۸۶۸ psi (۲۸۹۴ BPD، چوک ۶۴/۳۲ اینچ) افزایش یافت. چالش‌ها شامل مدیریت ۱۶۰,۰۰۰ گالن سیالات انگیزشی و استفاده از توپک انبساطی در محیط حفره باز بود. موفقیت این عملیات، کارایی ترکیب اسیدکاری شیمیایی-مکانیکی را نشان می‌دهد و رویکردی نوین برای مخازن کربناته پیچیده ارائه می‌دهد. کاربرد توپک انبساطی در چاه دو حفره‌ای با حفره باز، بینش‌های عملی برای مهندسان در بهینه‌سازی استراتژی‌های انگیزش فراهم می‌کند.

مقدمه

میدان نفتی سپهر-جفیر، واقع در دشت آبادان در جنوب غربی استان خوزستان، ایران، با مساحت ۳۵۲ کیلومتر مربع، در فاصله تقریبی ۶۰ کیلومتری غرب اهواز و ۳۰ کیلومتری جنوب سوسنگرد قرار دارد. سازند کربناته ایلام این میدان، با نفوذپذیری پایین و حساسیت بالا به آسیب سازندی، چالش‌های قابل‌توجهی برای حفظ عملکرد بهینه چاه‌ها ایجاد می‌کند. چاه JR-۰۹، یک چاه افقی با تکمیل حفره باز دو حفره‌ای، نمونه‌ای از این چالش‌هاست که آسیب گسترده ناشی از عملیات حفاری و تکمیل، تزریق‌پذیری و بهره‌وری آن را در بازه ۱۴۹۳ متری (حفره ۱: ۳۰۷۳-۴۰۵۶٫۶ متر عمق اندازه‌گیری شده، قطر ۱/۸ ۶اینچ؛ حفره ۲: ۳۲۲۵-۳۷۰۵ متر عمق اندازه‌گیری شده، قطر ۷/۸ ۵ اینچ) کاهش داده است.

اسیدکاری، روشی کلیدی در مدیریت مخازن کربناته، با حل کردن آسیب سازندی، نفوذپذیری و جریان سیال را بهبود می‌بخشد. با این حال، پیکربندی حفره باز چاه JR-۰۹ پیچیدگی‌هایی در توزیع یکنواخت اسید و جداسازی نواحی ایجاد کرد که خطر درمان ناهمگن یا دور زدن نواحی بحرانی را به همراه داشت. این مقاله عملیات موفق اسیدکاری را مستند می‌کند که اسیدکاری انتخابی با لوله مغزی سیار و توپک انبساطی را با اسیدکاری ماتریسی با استفاده از منحرف‌کننده شیمیایی ترکیب کرد. این عملیات عملکرد چاه را بازگرداند و شاخص تزریق‌پذیری را پنج برابر افزایش داد و شاخص بهره‌دهی را از ۱٫۷۵ به ۸٫۷۲ STB/(D.psi) بهبود بخشید. با غلبه بر چالش‌های لجستیکی و فنی، از جمله مدیریت حجم زیاد سیالات و استفاده از فناوری جداسازی پیشرفته، این مطالعه موردی مدلی مقیاس‌پذیر برای مهندسان در بهینه‌سازی اسیدکاری در مخازن کربناته مشابه ارائه می‌دهد و به طور قابل‌توجهی به دانش مداخله چاه کمک می‌کند.

طرح مساله و تئوری

اسیدکاری در مخازن کربناته بر واکنش شیمیایی بین اسید کلریدریک (HCl) و کلسیت ($CaCO_3$) برای حل کردن آسیب سازندی و ایجاد مسیرهای جریان هدایتی، مانند کرم‌چاله‌ها، وابسته است. این واکنش به صورت زیر است:

$$CaCO_3 + 2HCl \rightarrow CaCl_2 + CO_2 + H2O$$

در فرآیند یک اسیدکاری کربناته اسید از محلول بالک (Bulk Solution) به سطح کانی واکنشی (Reactive Mineral) از طریق نفوذ و همرفت (Transport by Convection and/or Diffusion) منتقل می‌شود. در مرحله دوم، اسید با کانی‌های کربناته (مانند کلسیت) واکنش داده و آن‌ها را حل می‌کند، که در این مرحله دمکهلر نامبر (Da) و پکلت نامبر (Pe)

نقش کلیدی دارند. این دو پارامتر که در تعامل بین مراحل ۱ (نفوذ و همرفت) و ۲ (واکنش) نقش دارند، با شبیه‌سازی‌های نرم‌افزاری تحلیل می‌شوند. تا تشکیل کرم‌چاله‌ها و افزایش نفوذپذیری در اسیدکاری تضمین و بهینه‌سازی شود؛ درنهایت محصولات واکنش از سازند خارج می‌شوند. این فرآیند در چاه JR-۰۹ با استفاده از اسید ۱۵٪ HCl و VDA برای توزیع یکنواخت اسید و بهبود نفوذپذیری سازند ایلام انجام شد.

این فرآیند نفوذپذیری را افزایش داده و جریان سیال به داخل یا خارج از مخزن را بهبود می‌بخشد. اسیدکاری انتخابی نواحی آسیب‌دیده خاص را با استفاده از لوله مغزی سیار و ابزارهای جداسازی مکانیکی، مانند توپک انبساطی قابل بازیافت، هدف قرار می‌دهد تا اسید را به طور دقیق تزریق کند و آسیب به بخش‌های سالم سازند را به حداقل برساند. اسیدکاری ماتریسی نواحی گسترده‌تری از مخزن را در فشار کمتر از فشار شکستگی تحریک می‌کند و اغلب از منحرف‌کننده‌های شیمیایی مانند اسید منحرف‌کننده ویسکوالاستیک (VDA) برای اطمینان از توزیع یکنواخت اسید در سازندهای ناهمگن استفاده می‌کند.

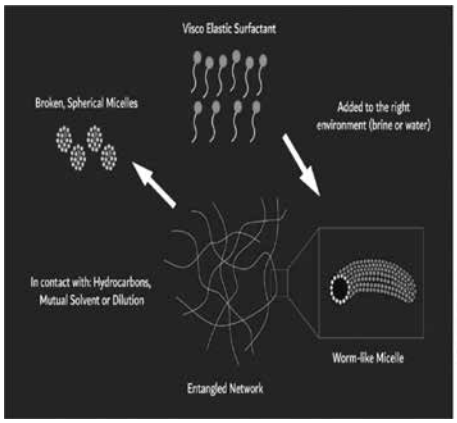
در اسیدکاری ماتریسی با VDA ۱۵٪، مولکول‌های سورفکتانت ویسکوالاستیک در محیط اولیه به صورت رشته‌های حلزونی کوتاه (worm-like micelles) سازمان می‌یابند و یک شبکه درهم‌تنیده با رفتار ویسکوالاستیک ایجاد می‌کنند. این شبکه در مناطق با نفوذپذیری بالا، به‌دلیل ویسکوزیته و خواص ارتجاعی‌اش، به‌طور موقت مسیرهای اصلی جریان اسید را مسدود می‌کند و اسید را به سمت حفرات با نفوذپذیری کمتر هدایت می‌نماید. بدین ترتیب توزیع یکنواخت اسید در سازند ناهمگن ایلام تضمین شده و تشکیل کرم‌چاله‌ها در کل بازه هدف به‌صورت کنترل‌شده انجام می‌گیرد، بدون آن که اسید در کانال‌های تراوا مصرف شود. درنهایت عبور پس‌شو از این نواحی، باعث شکست شبکه و تبدیل مجدد به میسل‌های کروی می‌شود که امکان حرکت آسان اسید مصرف شده را فراهم می‌آورد.

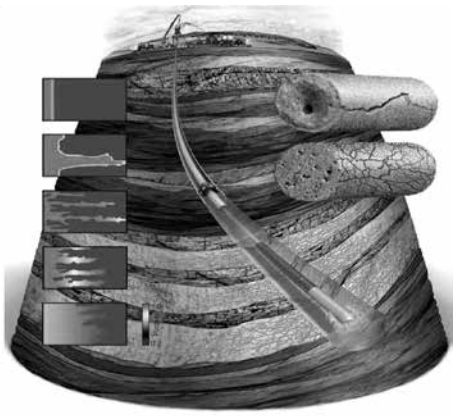
شاخص تزریق‌پذیری (II)، که به صورت نرخ تزریق سیال به ازای واحد افت فشار (bbl/D/psi) تعریف می‌شود، توانایی چاه در پذیرش سیالات را اندازه‌گیری می‌کند. شاخص بهره‌دهی (PI)، که به صورت نرخ تولید نفت به ازای واحد کاهش فشار (STB/D/psi) اندازه‌گیری می‌شود، بهره‌وری مخزن را نشان می‌دهد. رسوب و آب پایه (BS&W) محتوای غیرهیدروکربنی در سیال تولیدی را نشان می‌دهد و به عنوان معیاری برای تمیزی چاه استفاده می‌شود. لوله مغزی سیار یک لوله فولادی پیوسته برای تحویل سیالات و مداخلات است، در حالی که توپک انبساطی قابل بازیافت برای جداسازی نواحی خاص چاه منبسط می‌شود و امکان درمان هدفمند را فراهم می‌کند. اسید منحرف‌کننده ویسکوالاستیک به طور موقت ویسکوزیته را در نواحی با نفوذپذیری بالا افزایش می‌دهد و اسید را به نواحی با نفوذپذیری کمتر هدایت می‌کند. فشار سرچاهی (WHP) و فشار ته‌چاهی (BHP) برای ارزیابی عملکرد چاه و شرایط مخزن حیاتی هستند. در چاه شماره ۰۹ جفیر، کارشناسان تیم مهندسی نفت شرکت پژواک برای طراحی این عملیات، ابتدا به ساکن، یک استاندارد و نقشه راه طراحی-مهندسی کردند که مبتنی بر نرم افزارهای زیر بود:

(۱) طراحی هیدرولیکی-دمایی چاه و مخزن با استفاده از Pipesim و آنالیز حساسیت‌سنجی جهت بررسی احجام سیالات

(۲) طراحی مکانیکی-نیرو-استرس لوله مغزی سیار و چاه (Coiled Tubing String) با استفاده از Cerberus

(۳) طراحی اسیدکاری با در نظر گیری لوله مغزی سیار، چاه و مخزن با استفاده از Stimpro

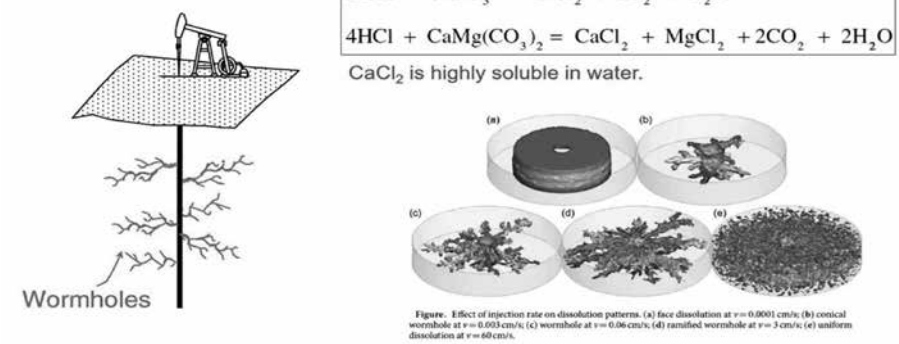




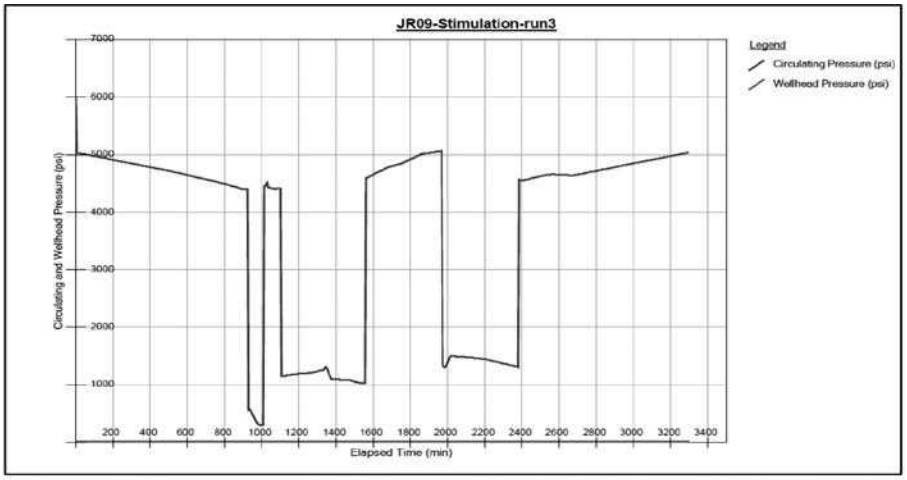
شکل ۲: شیوه عملکرد ویسکو الاستیک سورفکتنت ها در عملیات اسیدکاری ماتریسی

چالش‌های طراحی، عملیاتی و پشتیبانی لجستیکی

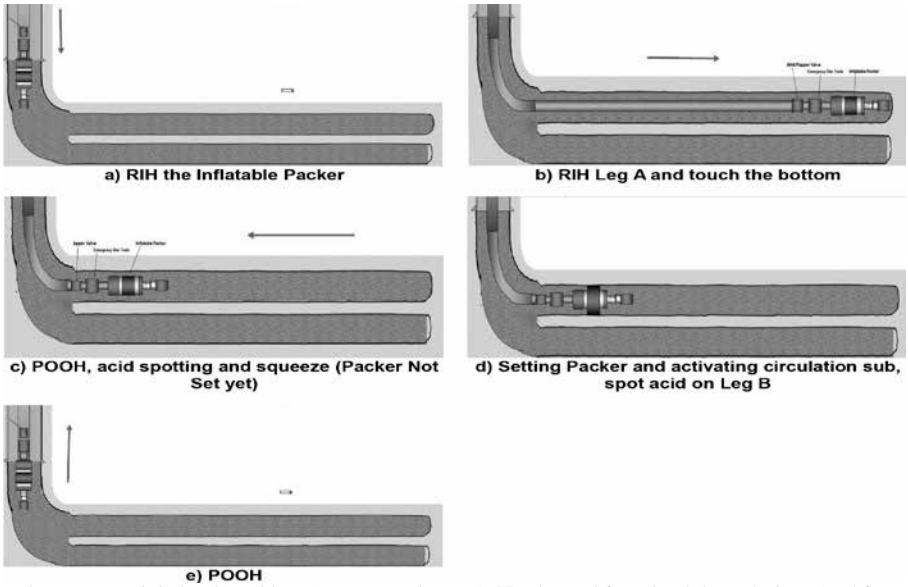
عملیات اسیدکاری چاه JR-۰۹ با چالش‌های عملیاتی قابل‌توجهی مواجه بود که نیازمند برنامه‌ریزی دقیق و راه‌حل‌های نوآورانه‌ای برای اطمینان از موفقیت بود. یکی از چالش‌های اصلی، خطر گیر کردن یا نیاز به عملیات مانده یابی برای توپک انبساطی قابل بازیافت در محیط حفره باز بود. توپک انبساطی ۳/۰ اینچی، که در بازه ۱۴۹۳ متری حفره باز مستقر شد، نیازمند کنترل دقیق برای جلوگیری از گیر مکانیکی یا خرابی بود. هندسه نامنظم حفره باز و تجمع احتمالی رسوب، خطر عملیات مانده یابی را افزایش داد، جایی که توپک یا لوله مغزی سیار ممکن بود گیر کند. برای کاهش این خطر، عملیات شامل یک قطع‌کننده اضطراری در مجموعه ته‌چاهی بود و شبیه‌سازی‌های پیش از عملیات با استفاده از نرم‌افزار Cerberus برای مدل‌سازی استقرار و بازیابی توپک تحت شرایط مختلف چاه انجام شد. این شبیه‌سازی‌ها فشار انبساط توپک را بهینه کردند و سازگاری با قطرهای ۶-۸/۱ اینچ و ۵-۸/۷ اینچ حفره‌های ۱ و ۲ را تضمین کردند.



شکل ۱: فرآیند اسیدکاری در مخازن کربناته



شکل ۳: شبیه سازی های انجام شده در نرم افزار Cerberus. الف) شبیه‌سازی وزن سطحی و تنش‌ها با نرم‌افزار Cerberus برای بررسی احتمال گیر کردن (Lock-Up) لوله مغزی سیار و توپک انبساطی در عملیات اسیدکاری چاه JR-۰۹، ب) شبیه‌سازی فشارهای گردشی و سرچاهی در طول زمان عملیات اسیدکاری چاه R-۰۹



شکل ۴: مراحل عملیات اسیدکاری چاه JR-۰۹ میدان سپهر-جفیر با استفاده از لوله مغزی سیار و توپک انبساطی; b,a) وارد کردن لوله مغزی سیار و توپک انبساطی (RIH) به حفره A و رسیدن به انتهای حفره، c) تزریق و فشرده‌سازی اسید در چاه پیش از تنظیم توپک انبساطی، d) تنظیم توپک انبساطی و فعال‌سازی زیرمجموعه گردش برای تزریق اسید به حفره B، e) خارج کردن نهایی تجهیزات (POOH) پس از تکمیل عملیات اسیدکاری

شکل ۴ شماتیک مراحل عملیات اسیدکاری چاه JR-۰۹ میدان سپهر-جفیر را با استفاده از لوله مغزی سیار و توپک انبساطی (Inflatable Packer) نشان می‌دهند. در مرحله اول ، لوله مغزی سیار و توپک به حفره A وارد شده و تا انتها رانده می‌شوند. سپس (POOH, acid spotting and squeeze)، بدون تنظیم توپک، اسید تزریق و فشرده‌سازی اولیه انجام می‌شود. در مرحله بعد (Setting Packer and activating circulation sub)، توپک تنظیم شده و زیرمجموعه گردش فعال می‌شود تا اسید به حفره B تزریق شود. در نهایت (POOH)، تجهیزات خارج می‌شوند. این فرآیند در بازه ۱۴۹۳ متری حفره باز، با موفقیت به افزایش ۵ برابری شاخص تزریق‌پذیری کمک کرد.

چالش لجستیک

مدیریت حجم عظیم مخازن ذخیره‌سازی و زمان اختلاط چالش دیگری بود. عملیات به حدود ۱۶۰,۰۰۰ گالن سیالات انگیزشی نیاز داشت، شامل ۱۲۷۱ بشکه برای اسیدکاری انتخابی (پیش‌شستشو، اسید کلریدریک ۱۵٪، پس‌شستشو) و ۲۶۳۷ بشکه برای اسیدکاری ماتریسی (پیش‌شستشو، اسید کلریدریک ۱۵٪، VDA ۱۵٪، پس‌شستشو). این حجم به بیش از ۵۰ مخزن ذخیره‌سازی شیمیایی نیاز داشت که هر یک نیازمند اختلاط دقیق اسید، VDA و سیالات شستشو طی ۲۴ تا ۴۸ ساعت برای دستیابی به پایداری شیمیایی بود.

سازگاری شیمیایی برای جلوگیری از رسوب یا واکنش‌های نامطلوب بین اسید کلریدریک، VDA و سیالات سازندی حیاتی بود. آزمایش‌های آزمایشگاهی پیش از عملیات، سازگاری را تأیید کردند و نشان دادند که اسید کلریدریک ۱۵٪ و VDA ۱۵٪ برای کانی‌شناسی و دمای سازند ایلام (تقریباً ۲۲۰–۲۰۰ درجه فارنهایت، بر اساس رابطه دما-عمق) مناسب هستند. نرم‌افزار StimPro برای شبیه‌سازی جایگذاری اسید و تشکیل کرم‌چاله استفاده شد و حجم سیالات و نرخ تزریق را برای به حداکثر رساندن افزایش نفوذپذیری و به حداقل رساندن آسیب سازندی بهینه کرد. شکل های زیر شبیه سازی انجام شده با استفاده از نرم افزار StimPro با استفاده از لوله مغزی سیار، توپک منبسط شونده قابل بازیافت را نشان می دهند. در این شبیه سازی ها فرض بر آن بود که لوله مغزی سیار در ابتدا وارد حفره ۱ شود و سپس توپک در محل تلاقی دو حفره منبسط شود و اسیدکاری حفره دوم صورت پذیرد. شکل ۶ و شکل ۸ کاهش ضریب پوسته (Skin Factor) را در طول زمان برای حفره ۱ و حفره ۲ نمایش

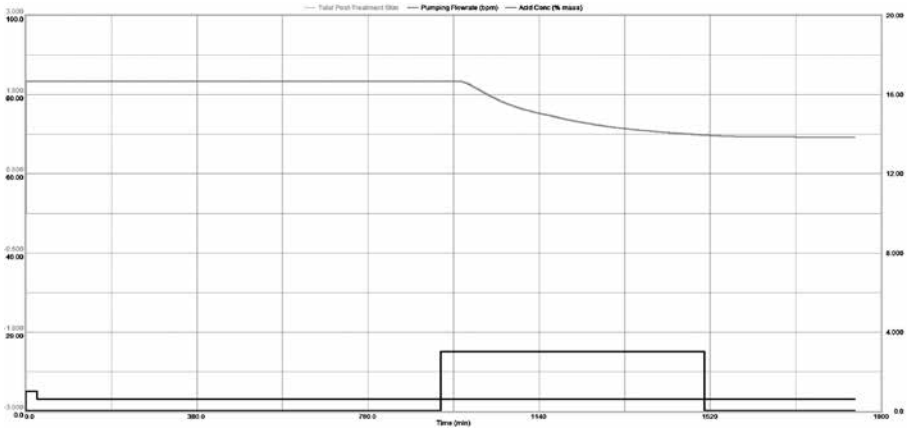
می‌دهد، که نشان‌دهنده بهبود نفوذپذیری سازند ایلام با تزریق اسید است. شکل ۷ و شکل ۹ نیز پروفایل نفوذ سیالات مختلف (شامل پیش‌شستشو، اسید ۱۵٪ HCl و پس‌شستشو) را در مخزن برای هر دو حفره نشان می‌دهد، که توزیع مؤثر سیالات و تأثیر آن‌ها بر مناطق هدف را تأیید می‌کند.

با توجه به اینکه نرم‌افزارهای استاندارد شبیه‌سازی اسیدکاری اعم Wellbook و Stimpro مدل‌سازی هم‌زمان دو حفره باز، از شبیه‌سازی‌های StimPro صرفاً برای برآورد تقریبی حجم سیالات و ایده‌پردازی استفاده شد. به کمک این شبیه‌سازی‌ها، حجم نهایی تزریق ۱۲۷۱ بشکه اسید انتخابی و ۲۶۳۷ بشکه اسید ماتریسی تعیین گردید. سپس داده‌های آزمایشگاهی و نتایج شبیه‌سازی‌های Cerberus برای تنظیم دقیق توالی تزریق، جایگذاری توپک منبسط‌شونده و بهینه‌سازی پارامترهای عملیاتی به‌کار گرفته شد.

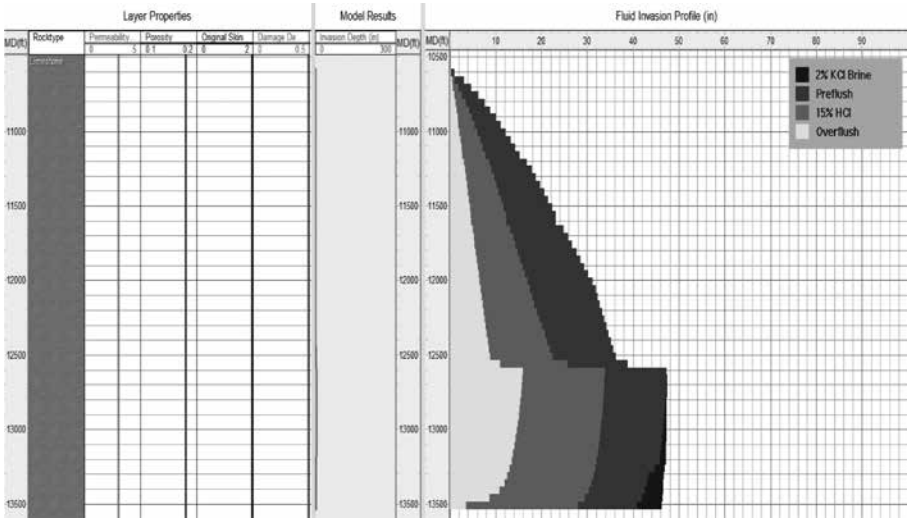
شایان ذکر است در خصوص شبیه سازی با نرم افزار های اسیدکاری از قبیل Wellbook و Cerberus, Stimpro، دستیابی به یک سند فنی و یا استاندارد داخلی (in house or proprietary technical documents)، از شرکت های بین المللی نیاز به نامه نگاری و درخواست های مکرر دارد که نتیجه ی موثر و مفیدی نخواهد داشت ولی به یمن تلاش و مطالعه کارشناسان مهندسی نفت و بهره‌برداری شرکت پژواک و الگوبرداری از روش‌های روز دنیا قادر و توانا به انجام مطالعات پیچیده مخازن خاص و طراحی عملیات برای دستیابی به اهداف مورد نظر در مخزن و اجرای عملیات حتی در مخازن شده‌ایم. با توجه به دسترسی به منابع خارجی از جمله مقالات ژورنالی و کنفرانسی که در مورد مطالعات موردی عملیات‌های خاص مرتبط با شرایط چاه مذکور (Case Studies) و کتاب های روز منتشر شده در زمینه های مختلف مهندسی نفت، مطالعات Self Study و متعاقبا مطالعات پایه ای و تفصیلی توسط متخصصین داخلی انجام می‌شود و در زمینه مدیریت و مهندسی انجام این نوع از پروژه های پر چالش، به نظر در داخل چیزی کمتر از کشور های دارای تکنولوژی نداریم حتی در مواقعی با وسواس و دقت بیشتری هم ملاحظات سازنده و کاربردی را جهت نیل به اهداف اجرایی پروژه، مد نظر قرار می‌دهیم.

هماهنگی لجستیکی در حضور دکل حفاری فتح ۹۴ در محل چاه JR-۰۹ پیچیدگی را افزایش داد. عملیات دکل، فضای موجود را محدود کرد و نیازمند برنامه‌ریزی دقیق برای استقرار واحدهای لوله مغزی سیار، پمپ‌های فرک، واحدهای نیتروژن و مخازن ذخیره‌سازی بدون اختلال در فعالیت‌های حفاری بود. یک تیم لجستیکی اختصاصی، حمل‌ونقل سیالات و تجهیزات را تضمین کرد و موجودی سیالات را در زمان واقعی نظارت کرد تا از تأخیر جلوگیری شود. موفقیت عملیات به ادغام ابزارهای شبیه‌سازی، آزمایش‌های آزمایشگاهی و هماهنگی لجستیکی وابسته بود و اجرای ایمن و کارآمد را در محیطی پرمخاطره تضمین کرد.

شکل ۵: شماتیک چاه مدل سازی شده در نرم افزار StimPro



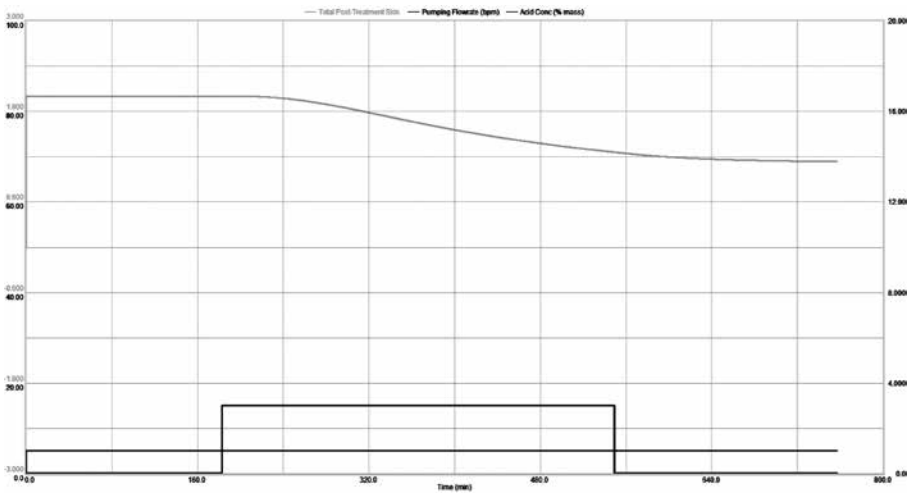
شکل ۶: کاهش ضریب پوسته در طول عملیات اسیدکاری برای حفره ۱



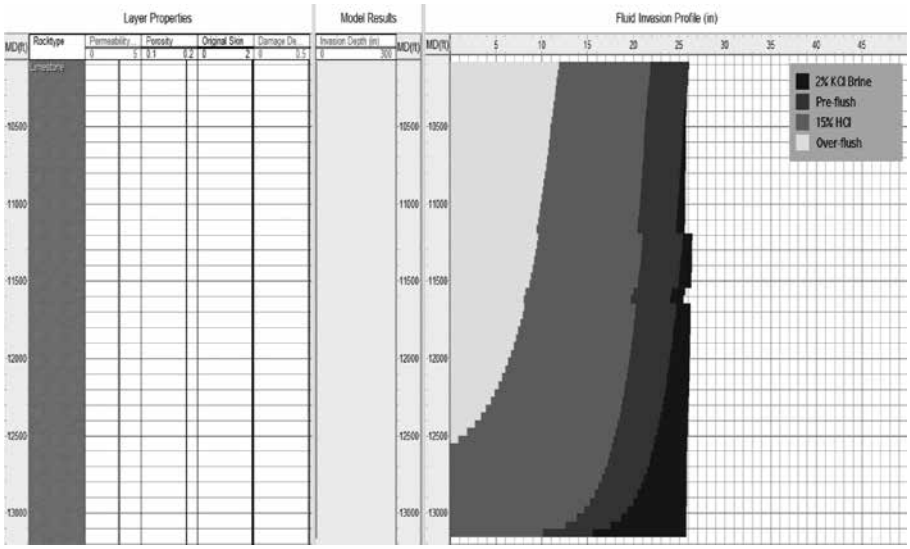
شکل ۷: پروفایل نفوذ سیالات مختلف در مخزن برای حفره ۱

ملاحظات طراحی و مهندسی

سازند ایلام با ترکیب کربناته، نفوذپذیری پایین و حساسیت بالا به آسیب سازندی، نیازمند استراتژی اسیدکاری متناسب بود. ملاحظه تئوری اولیه، بهینه‌سازی واکنش‌پذیری اسید برای ایجاد کرم‌چاله‌های مؤثر بدون به خطر انداختن یکپارچگی سازند بود. نرخ واکنش اسید کلریدریک ۱۵٪ با کلسیت به دما وابسته است، به طوری که دماهای بالاتر، حل شدن را تسریع می‌کنند



شکل ۸: کاهش ضریب پوسته در طول عملیات اسیدکاری برای حفره ۲



شکل ۹: پروفایل نفوذ سیالات مختلف در مخزن برای حفره ۲

اما خطر مصرف بیش از حد اسید را افزایش می‌دهند. دماهایی در حدود ۲۲۰-۲۰۰ درجه فارنهایت در عمق ۹,۰۰۰-۱۱,۰۰۰ جهت انتخاب اسید و استراتژی تزریق مورد بررسی قرار گرفتند. آزمایش‌های آزمایشگاهی تأیید کردند که اسید کلریدریک ۱۵٪ تعادل بهینه‌ای بین واکنش‌پذیری و نفوذ فراهم می‌کند، در حالی که VDA ۱۵٪ با افزایش کارایی انحراف، عملکرد را بهبود بخشید. ملاحظه دیگر، دستیابی به توزیع یکنواخت اسید در محیط حفره باز بود. ناهمگنی سازند ایلام، با نفوذپذیری متغیر در حفره‌های ۱ و ۲، خطر جای‌گذاری ناهمگن اسید را بدون انحراف مکانیکی یا شیمیایی ایجاد کرد. توپک‌های انبساطی این مشکل را برای اسیدکاری انتخابی حل کردند و نواحی خاصی را برای درمان هدفمند جدا کردند. برای اسیدکاری ماتریسی، خواص ویسکوالاستیک VDA اسید را به نواحی با نفوذپذیری کمتر هدایت کرده و افزایش نفوذپذیری را به حداکثر رساندند.

شبیه‌سازی‌های StimPro، انتشار کرم‌چاله و پوشش اسید را مدل‌سازی کردند و افزایش ۲ تا ۳ برابری تزریق‌پذیری برای اسیدکاری انتخابی و ۴ تا ۵ برابری برای اسیدکاری ماتریسی را پیش‌بینی کردند که با نتایج مشاهده‌شده همخوانی داشت. پیکربندی حفره باز، خطر دور زدن اسید و خرابی توپک را ایجاد کرد و نیازمند جداسازی مکانیکی قوی بود. شبیه‌سازی‌های Cerberus عملکرد توپک را تحت فشارهای تفاضلی و ناهمواری‌های چاه ارزیابی کردند و قابلیت اطمینان را تضمین کردند. این ملاحظات تئوری، که بر اساس ویژگی‌های مخزن و ابزارهای شبیه‌سازی بودند، طراحی عملیاتی را هدایت کردند و استراتژی‌های شیمیایی و مکانیکی را برای دستیابی به نتایج بهینه اسیدکاری متعادل نمودند.

روش اجرا

عملیات اسیدکاری چاه JR-۰۹ توسط کارشناسان شرکت پژواک از توالی ساختاریافته‌ای برای اطمینان از درمان مؤثر و ارزیابی عملکرد پیروی کرد. در ابتدا، چاه با جابجایی گل حفاری و باقی‌مانده‌های $CaCl_2$ با آب تازه از طریق گردش معکوس از حلقه آماده شد. این مرحله محتوای رسوب و آب پایه را به حداقل رساند و محیطی تمیز برای مداخلات بعدی ایجاد کرد. لوله مغزی سیار سپس تا عمق ۳۷۶۷ متری در حفره ۱ برای جابجایی دوم با آب تازه رانده شد تا سازگاری با سیالات انگیزشی تضمین شود. عملیات تمیزسازی با جریاندهی چاه از طریق اندازه‌های چوک به تدریج افزایش‌یابنده، از ۶۴/۱۶ اینچ تا ۶۴/۳۶ اینچ، برای حذف رسوب و ارزیابی شرایط جریان اولیه آغاز شد. محتوای بالای رسوب و آب نیازمند چندین چرخه زنده‌سازی با نیتروژن بود که از طریق لوله مغزی سیار تزریق شد تا ستون سیال تخلیه شده و چاه زنده شود. چاه‌آزمایی پیش از اسید در چوک ۶۴/۳۶ اینچ فشار سرچاهی ۱۷۱ psi، نرخ نفت ۱۷۹۶ BPD، و شاخص بهره‌دهی ۱٫۷۵ STB/(D.psi) را ثبت کرد. اسیدکاری انتخابی نواحی آسیب‌دیده را در هر دو حفره هدف قرار داد. برای حفره ۲، لوله مغزی سیار با توپک انبساطی ۳٫۰ اینچی تا عمق ۳۷۱۰ متری رانده شد، جایی که ۵ گالن بر فوت اسید کلریدریک ۱۵٪ (۱۹۶ بش Iran's (حدود ۱۹۶ بشکه)، پیش‌شستشوی ۹۸ بشکه‌ای و پس‌شستشوی ۹۸ بشکه‌ای از طریق لوله تزریق شد. سیالات انگیزشی سپس به صورت بولهدینگ جابجا شدند. برای حفره ۱، لوله مغزی سیار تا عمق ۳۲۲۵ متری کشیده شد، توپک منبسط شد و یک توپ برای باز کردن زیرمجموعه گردش رها شد. درمان مشابهی با ۵ گالن بر فوت اسید کلریدریک ۱۵٪ (۳۹۰بشکه)، با پیش‌شستشوی ۱۹۵ بشکه‌ای و پس‌شستشوی ۱۹۵ بشکه‌ای اعمال شد و به دنبال آن بولهدینگ سیالات انگیزشی انجام شد. فاز اسیدکاری انتخابی، در مجموع ۱۲۷۱ بشکه، طی ۳۶ ساعت تکمیل شد. اسیدکاری ماتریسی ۱۵ گالن بر فوت اسید کلریدریک ۱۵٪ (۱۱۷۲ بشکه) و ۷٫۵ گالن بر فوت VDA ۱۵٪ (۵۸۶ بشکه) از طریق رشته زنده‌سازی، با پیش‌شستشوی ۲۹۳ بشکه‌ای و پس‌شستشوی ۵۸۶ بشکه‌ای، مخزن گسترده‌تری را تحریک کرد. این فاز، در مجموع ۲۶۳۷ بشکه، نفوذپذیری را در هر دو حفره افزایش داد. تمیزسازی پس از درمان شامل زنده‌سازی اضافی با نیتروژن برای حذف اسید مصرف‌شده و رسوب بود، به دنبال آن چاه‌آزمایی در چوک‌های ۶۴/۲۴ و ۶۴/۳۲ اینچ انجام شد. گیج‌های حافظه ته‌چاهی فشار و دمای ته‌چاهی را ثبت کردند،

در حالی که تجهیزات چاه‌آزمایی سطحی نرخ جریان و خواص سیال را اندازه‌گیری کردند.

کاربرد تجهیزات و فرآیندها

شرکت پژواک با کمک سرویس کمپانی ها و توان داخل کشور عملیات اسیدکاری چاه JR-۰۹ را با استفاده از مجموعه‌ای از تجهیزات غیر نرمال برای انجام عملیات در هندسه پیچیده چاه و نیازهای عملیاتی استفاده نمود. واحد لوله مغزی سیار، با رشته TS۸۰ به قطر ۱/۵ اینچ، طول ۵۳۷۸ متر و ظرفیت ۲۶ بشکه، برای تزریق سیالات، زنده‌سازی با نیتروژن و پمپاژ اسید بود. این فرایند در سه مرحله اجرا شد: جابجایی اولیه برای بیرون ریختن گل و $CaCl_2$، زنده‌سازی با نیتروژن برای زنده کردن چاه، شستشوی اسیدی با توپک انبساطی، انعطاف‌پذیری و دسترسی لوله مغزی سیار در بازه ۱۴۹۳ متری حفره باز حفره ۱ را ممکن ساخت. استفاده از توپک انبساطی ۳/۰ اینچی شرکت Tomex برای اسیدکاری انتخابی بسیار حایز اهمیت بود و جداسازی نواحی را در محیط حفره باز فراهم کرد. مجموعه ته‌چاهی شامل شیر گردشی (Circulation Sub)، که با رها کردن یک توپ (ball) فعال شد و یک قطع‌کننده اضطراری (hydraulic disconnector) برای کاهش خطرات گیر کردن بود. توپک مورد استفاده قابل استفاده تا دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد و اختلاف فشارهای بالا، عملکرد قابل قبولی را تحت شرایط سازند ایلام تضمین کرد. شبیه‌سازی با استفاده از نرم افزار Cerberus استقرار توپک را بهینه سازی نمود که سازگاری با قطر حفره باز ۸/۱-۶ اینچ و ۸/۷-۵ اینچ حفره‌های ۱ و ۲ را تأیید نمود. تجهیزات چاه‌آزمایی سطحی، تأمین‌شده توسط BSAK، شامل جداکننده‌ها، جریان‌سنج‌ها و حسگرهای فشار/دما برای اندازه‌گیری نرخ نفت، نسبت گاز به نفت، H_2S، CO_2 و BSW بود. سیالات انگیزشی توسط واحدهای پمپ (Pump Trucks) با فشار بالا پمپاژ و توسط بیش از ده مخزن اختلاط و ذخیره‌سازی شیمیایی پشتیبانی شدند. واحدهای نیتروژن چرخه‌های زنده‌سازی را تسهیل نموده، همچنین گیج‌های حافظه ته‌چاهی، فشار و دمای ته‌چاهی را ثبت کرده و داده‌های بسیار مهمی برای تجزیه و تحلیل عملکرد چاه و مخزن فراهم کردند. فرآیند اسیدکاری با آماده‌سازی چاه آغاز شد و سیالات از طریق گردش معکوس و لوله مغزی سیار جابجا شدند تا BSW به حداقل برسد. تمیزسازی شامل جریاندهی چاه از طریق اندازه‌های چوک افزایش‌یابنده، با پشتیبانی زنده‌سازی با نیتروژن برای رفع محتوای بالای رسوب بود. در اسیدکاری انتخابی ۱۲۷۱ بشکه سیال (پیش‌شستشو، اسید کلریدریک ۱۵٪، پس‌شستشو) طی ۳۶ ساعت تزریق گردید که نواحی هدف با استفاده از توپک انبساطی بخوبی جداسازی و مورد انگیزش قرار گرفتند. در اسیدکاری ماتریسی ۲۶۳۷ بشکه سیال (پیش‌شستشو، اسید کلریدریک ۱۵٪، VDA ۱۵٪، پس‌شستشو) بولهد شد تا نفوذپذیری را بیشتر از قبل افزایش دهد.

داده‌ها و نتایج

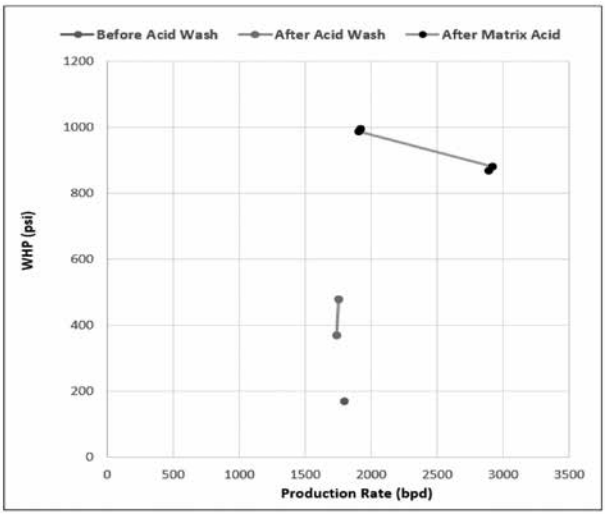
برای ارزیابی JR-۰۹ داده ها و اطلاعات از تجهیزات چاه‌آزمایی سطحی و گیج‌های حافظه ته‌چاهی جمع آوری گردید. اندازه‌گیری‌های سطحی شامل فشار سرچاهی، نرخ نفت، نسبت گاز به نفت، H_2S، CO_2 و محتوای رسوب و آب پایه بود که طی چاه‌آزمایی در اندازه‌های چوک از ۶۴/۱۶ تا ۶۴/۳۶ اینچ ثبت شدند. با استفاده از گیج‌های حافظه ته‌چاهی داده‌های فشار و دمای ته‌چاهی بررسی شدند و با اندازه‌گیری‌های سطحی مقایسه شدند که نهایتا شرایط مخزن مورد ارزیابی قرار گرفت. شاخص‌های تزریق‌پذیری و بهره‌دهی به ترتیب از آزمایش‌های تزریق‌پذیری و داده‌های جریان محاسبه شدند.

• بر اساس چاه‌آزمایی پیش از اسیدکاری انتخابی، در چوک ۶۴/۳۶ اینچ، فشار سرچاهی ۱۷۱ psi، نرخ تولید نفت ۱۷۹۶ BPD و شاخص بهره‌دهی ۱/۷۵ STB/(D.psi) گزارش گردید.

• بر اساس چاه‌آزمایی پس از اسیدکاری انتخابی، در چوک ۶۴/۳۲ اینچ، فشار سرچاهی ۳۷۱ psi و نرخ تولید نفت ۱۷۴۰ BPD گزارش گردید و شاخص تزریق‌پذیری ۲/۵ برابر افزایش یافت که نشان‌دهنده حذف مؤثر آسیب ناشی از حفاری می‌باشد.

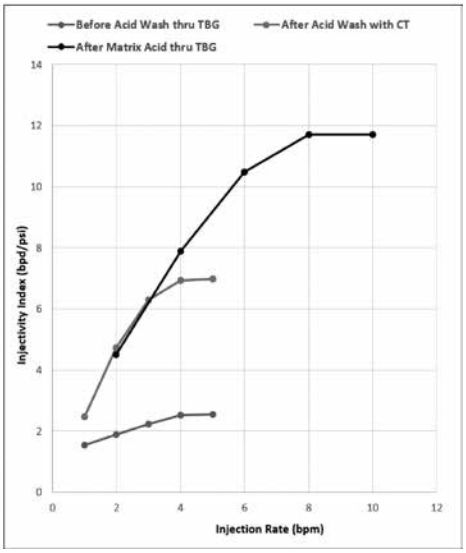
• بر اساس چاه‌آزمایی پس از اسیدکاری ماتریسی در همان چوک ۶۴/۳۲ اینچ فشار سرچاهی ۸۶۸ psi و نرخ تولید نفت ۲۸۹۴ BPD گزارش گردید و شاخص بهره‌دهی به

Before Acid Wash		
Rate	WHP	Choke Size
bpd	psi	in
1796	171	36.00
After Acid Wash		
Rate	WHP	Choke Size
bpd	psi	in
1740	371	32.00
1754	480	28.00
After Matrix Acid		
Rate	WHP	Choke Size
bpd	psi	in
1920	996	24.00
1905	989	24.00
2923	882	32.00
2894	868	32.00



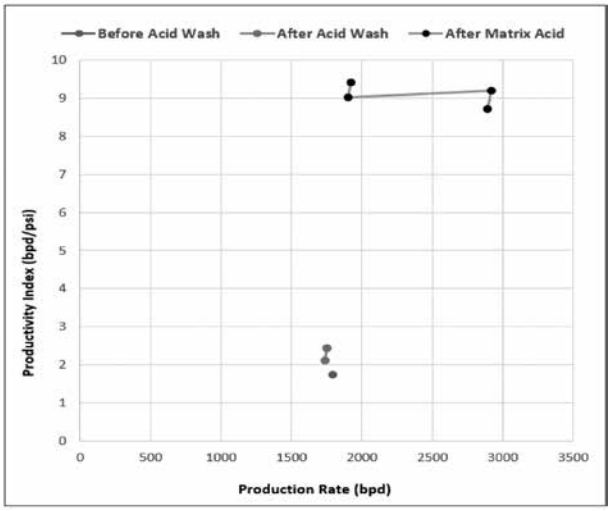
شکل ۱۰: فشار سرچاهی در مقابل دبی تولیدی قبل و بعد از عملیات اسیدکاری

Before Acid Wash thru TBG				
Rate	Surface Pumping Pressure	average DHIP	$\Delta P = DHIP - P_R$	Average Injectivity Index
bbl/m	psi	psi	psi	bpd/psi
1	1500	6,080	930	1.55
2	2100	6,680	1,530	1.88
3	2500	7,080	1,930	2.24
4	2850	7,430	2,280	2.53
5	3400	7,980	2,830	2.54
After Acid Wash with CT				
Rate	Surface Pumping Pressure	average DHIP	$\Delta P = DHIP - P_R$	Average Injectivity Index
bbl/m	psi	psi	psi	bpd/psi
1	1150	5,730	580	2.48
2	1180	5,760	610	4.72
3	1255	5,835	685	6.31
4	1400	5,980	830	6.94
5	1600	6,180	1,030	6.99
After Matrix Acid thru TBG				
Rate	Surface Pumping Pressure	average DHIP	$\Delta P = DHIP - P_R$	Average Injectivity Index
bbl/m	psi	psi	psi	bpd/psi
2	1210	5,790	640	4.50
4	1300	5,880	730	7.89
6	1395	5,975	825	10.48
8	1555	6,135	985	11.70
10	1800	6,380	1,230	11.71



شکل ۱۱: روند شاخص تزریق‌پذیری قبل و بعد از عملیات اسیدکاری

Before Acid Wash		
Rate	WHP	Surface PI
bpd	psi	bpd/psi
1796	171	1.75
After Acid Wash		
Rate	WHP	Surface PI
bpd	psi	bpd/psi
1740	371	2.10
1754	480	2.44
After Matrix Acid		
Rate	WHP	Surface PI
bpd	psi	bpd/psi
1920	996	9.41
1905	989	9.03
2923	882	9.19
2894	868	8.72



شکل ۱۲: روند شاخص بهره دهی قبل و بعد از عملیات اسیدکاری

۸٫۷۲ STB/(D.psi) افزایش یافت. شاخص تزریق‌پذیری نسبت به شرایط پیش از اسید، حدود پنج برابر افزایش یافت که ناشی از افزایش نفوذپذیری در هر دو حفره می‌باشد. افزایش ۷۰۰ psi در فشار سرچاهی و افزایش حدود ۵۰٪ نرخ تولید نفت، موفقیت عملیات در بهبود عملکرد چاه را نشان می‌دهد.

شکل‌ها و جدول‌ها این نتایج را به وضوح ارائه می‌دهند. شکل ۱۰ فشار سرچاهی در مقابل دبی تولیدی را نشان می‌دهد و افزایش از ۱۷۱ psi (پیش از اسید) به ۸۶۸ psi (پس از اسیدکاری ماتریسی) را برجسته می‌کند. شکل ۱۱ روند شاخص تزریق‌پذیری را نشان می‌دهد که افزایش ۲٫۵ برابری پس از اسیدکاری انتخابی و افزایش پنج برابری پس از اسیدکاری ماتریسی را نشان می‌دهد. شکل ۱۲ بهبود شاخص بهره‌دهی از ۱٫۷۵ به ۸٫۷۲ STB/(D.psi) را ترسیم می‌کند.

جدول ۱ نشان دهنده حجم‌های سیالات عملیات اسیدکاری می‌باشد که ۱۲۷۱ بشکه برای اسیدکاری انتخابی و ۲۶۳۷ بشکه برای اسیدکاری استفاده شده است . این شکل‌ها و جدول‌ها، که از گزارش عملیات و منابع تکمیلی اقتباس شده‌اند، بنیانی قوی برای تجزیه و تحلیل تأثیر عملیات اسیدکاری ارائه می‌کنند.

نتیجه‌گیری

• عملیات اسیدکاری چاه JR-۰۹ چندین مشاهده کلیدی را ارائه داد که موفقیت آن و کاربرد گسترده‌تر آن را روشن می‌کند. فاز اسیدکاری انتخابی، با استفاده از توپک انبساطی ۳٫۰ اینچی، به طور مؤثری آسیب سازندی نزدیک چاه را در حفره‌های ۱ و ۲ هدف قرار داد. توانایی توپک در جداسازی نواحی خاص در محیط حفره باز، از هرزروی اسید جلوگیری کرد و درمان دقیق را تضمین کرد. افزایش ۲٫۵ برابری شاخص تزریق‌پذیری پس از اسیدکاری انتخابی، حذف آسیب ناشی از حفاری را منعکس می‌کند که توسط نتایج آزمایش تزریق‌پذیری تأیید شد.

• اسیدکاری انتخابی با استفاده از توپک انبساطی جهت جدایش مکانیکی و ماتریسی، با استفاده از اسید منحرف‌کننده ویسکوالاستیک ۱۵٪ بعنوان منحرف کننده شیمیایی، توزیع اسید را در سازند ناهمگن ایلام بهینه کرد. خواص ویسکوالاستیک منحرف‌کننده به طور موقت نواحی با نفوذپذیری بالا را مسدود کرد و اسید را به نواحی با نفوذپذیری کمتر هدایت کرد، که افزایش قابل‌توجه نفوذپذیری، کارایی منحرف‌کننده را در این مخزن ناهمگن نشان می‌دهد. کاربرد نوین فناوری توپک انبساطی در چاه دو حفره‌ای با حفره باز، موفقیت مستند در دستیابی به جداسازی نواحی، توسعه بیشتر ابزارهای جداسازی مکانیکی را به دنبال خواهد داشت و به طور بالقوه خطرات عملیاتی را در هندسه‌های پیچیده چاه کاهش می‌دهد.

• این عملیات مستلزم برنامه‌ریزی دقیق جهت هماهنگی های لجستیکی عملیات، مدیریت ۱۶۰،۰۰۰ گالن سیالات و هماهنگی تجهیزات در حضور دکل حفاری، بود.

• شبیه‌سازی‌های پیش از عملیات با استفاده از StimPro و Cerberus، سازگاری شیمیایی و قابلیت اطمینان توپک را تضمین کردند و خطرات گیر کردن یا عملیات مانده یابی را کاهش دادند. این مشاهدات، اثر استفاده همزمان از استراتژی‌های شیمیایی و مکانیکی، با پشتیبانی ابزارهای شبیه‌سازی پیشرفته و جمع‌آوری داده‌ها را برجسته می‌کنند.

• اسیدکاری چاه افقی JR-۰۹ در میدان نفتی سپهر-جفیر دستاورد قابل‌توجهی در پیمایش چاه برای مخازن کربناته پیچیده نشان می‌دهد. این عملیات شاخص تزریق‌پذیری را پنج برابر افزایش داد و شاخص بهره‌دهی را از ۱٫۷۵ به ۸٫۷۲ STB/(D.psi) بهبود بخشید، با فشار سرچاهی که از ۱۷۱ psi به ۸۶۸ psi و نرخ تولید نفت از ۱۷۹۶ به ۲۸۹۴ BPD افزایش یافت. این نتایج کاهش موفقیت‌آمیز آسیب سازندی و افزایش نفوذپذیری در بازه ۱۴۹۳ متری حفره باز را منعکس می‌کند.

• نتیجه‌گیری‌های عملیات اسیدکاری چاه JR-۰۹ ارزش عملی قابل‌توجهی برای مهندسان عملیاتی و مدیران مخزن ارائه می‌دهد. مهندسان می‌توانند از این معیارها برای پیش‌بینی افزایش تولید و توجیه سرمایه‌گذاری در تکنیک‌های اسیدکاری پیشرفته استفاده کنند.

با رویه‌های فعلی شرکت ملی نفت و همچنین استعانت به سیاست‌گذاری‌های انجام شده توسط وزارت نفت، شرکت پژواک امیدوار است ارتباط فنی-عملیاتی بین شرکت های حوزه بالا دست حفاری، تکمیل و تولید در بخش خصوصی و نیمه دولتی (EPD Contractors) و شرکت‌های تابعه شرکت ملی نفت (Oil Companies) و یا شرکت‌های اکتشاف، توسعه و تولید (E&P Companies) بیشتر از پیش شده و همچنین با به اشتراک‌گذاری تجارب و درس آموخته‌های (Losson Learnts) مشابه در پروژه‌های مختلف، در آینده پروژه‌های اینچنینی و حتی پیچیده‌تر نیز به نحو مطلوب، اجرایی و عملیاتی گردد.

Iterval		Stages			Volum	
(m)	(ft)				(gal)	gal/ft
1500	4921.5	Acid Wash	Leg 1	Preflush	8,190	2.5
				Main Acid	16,380	5.0
				Overflush	8,190	2.5
			Leg 2	Preflush	4,116	1.3
				Main Acid	8,232	2.5
				Overflush	4,116	1.3
		Matrix Acidizing	Leg 1, 2	Preflush	12,306	3.8
				Main Acid	49,224	15.0
				VDA	24,612	7.5
				Overflush	24,612	7.5

جدول ۱: حجم‌های سیالات برای اسیدکاری انتخابی و ماتریسی

بررسی چگونگی تولید از مخازن نامتعارف (شیل‌های) نفتی و گازی در ایران

شاهین پرچه خواری
کارشناس ارشد مهندسی نفت شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب

۱. مقدمه

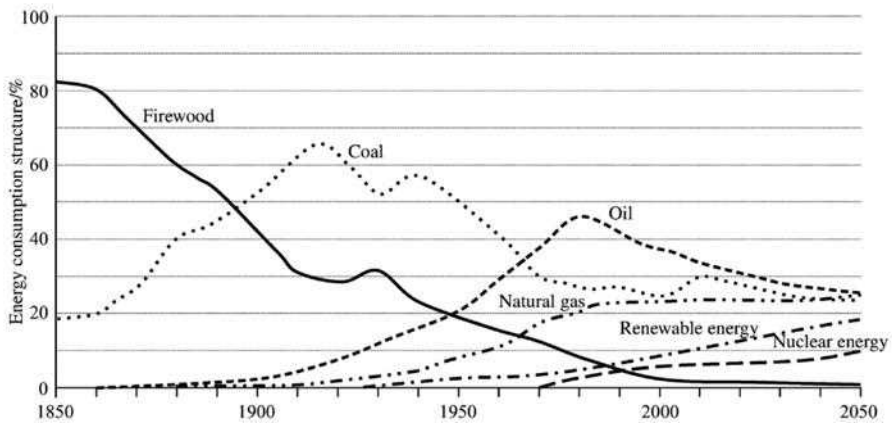
یکی از مهمترین مسائل روز دنیا مدیریت تولید و تقاضا برای انرژی در کشورهای توسعه یافته و درحال توسعه می‌باشد. در ایران تقریبا تمام تولید، از مخازن متعارف صورت گرفته و تاکنون از مخازن شیلی تولید خاصی صورت نگرفته است. همزمان با افزایش جهانی تقاضا، محدودیت تولید از منابع متعارف، شرایط ژئوپلیتیکی دنیا (جنگ روسیه و اوکراین و بحران‌های موجود در خاورمیانه) و تحریم‌های ظالمانه، باعث افزایش قیمت انرژی گردیده است. پیشرفت علم و استفاده از روش‌های نوین، باعث فراهم آمدن امکان بهره برداری و استحصال هیدروکربور از مخازن نامتعارف در تعداد محدودی از کشورهای دنیا گردیده است. جهت حفظ و ارتقاء جایگاه کنونی ایران در منطقه و دنیا، روی آوردن به مبحث مخازن نامتعارف (شیلی) و تلاش جهت پتانسیل سنجی و اکتشاف، تولید و توسعه مخازن نامتعارف در آینده نزدیک اهمیت دوچندانی پیدا می‌کند. البته دستیابی و بومی سازی فرآیند اکتشاف، تولید و توسعه از این دسته مخازن، نیازمند استفاده از روش های نوین حفاری و بهره برداری و استفاده از علم روز دنیا می باشد. ماسه سنگ های فشرده گازدار (Tight Gas Sand)، گاز متان لایه‌های زغال (Coal Bed Methane)، گازهای هیدراته مدفون (Gas Hydrate Deposits)، ماسه‌های قیری (Tar Sands)، شیل‌های نفتی و شیل‌های گازدار(Gas Shales) تحت عنوان منابع نامتعارف شناخته شده‌اند.

در مخازن متعارف هیدروکربنی، سنگ منشاء ذخایر هیدروکربنی همواره مجزا از سنگ مخزن در نظر گرفته می‌شود، اما امروزه باور بر این است که سازند منشایی، در مواردی می‌تواند سنگ مخزن نیز محسوب شود که در این صورت در طبقه‌بندی ذخایر هیدروکربنی به عنوان یک مخزن نامتعارف لحاظ می‌گردد. در مخازن نامتعارف سیستم و تله نفتی وجود ندارد و هیدروکربن تشکیل‌شده در سنگ منشا (سنگ مادر) ذخیره می‌شود. در این مخازن سنگ مخزن دارای تخلخل و تراوایی مشابه مخازن متعارف نبوده و سنگ منشا به ظاهر سخت و محکم است. ضمنا اطلاق عنوان نامتعارف به دلیل عدم کارایی روش‌های متداول جهت بهره‌برداری و تولید هیدروکربن است و فقط با استفاده از تکنیک‌های نوین، بهره‌برداری اقتصادی از آنان ممکن می‌گردد.

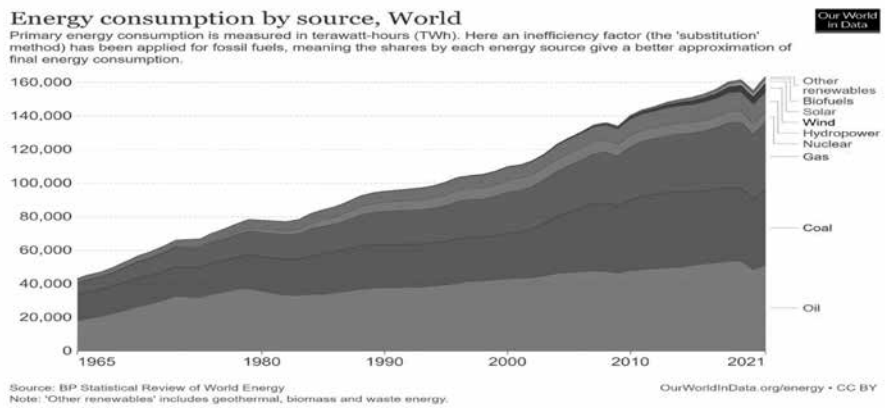
انباشتگی‌های غیرمتعارف شامل گازهای شیلی، نفت‌های شیلی و شیل‌های نفتی/ گازی، ماسه‌های قیری، نفت بسیارسنگین، گاز طبقات کم تراوا، متان رگه زغالی(CBM) و هیدرات‌های گازی می‌باشد. نفت و گاز مخازن شیلی مهمترین و اصلی‌ترین انباشتگی غیرمتعارف است که هدف و مورد بحث این نوشتار می‌باشد.

ذخایر شیلهای گازی از انواع مخازن نامتعارف محسوب می‌گردند که امروزه در کشورهای آمریکا، روسیه، چین، عربستان سعودی (از طبقات مشابه در زاگرس و بخش عمده از خلیج فارس ایران) و تعدادی از کشورهای اروپایی به مرحله تولید و بهره‌برداری اقتصادی رسیده‌اند. در ایران نیز می‌توان با توسعه سیستم‌های شیل گازییک منبع تأمین انرژی أمن و طولانی مدت ایجاد کرد. لذا در این برهه زمانی با مروری بر داده‌های علمی و فنی موجود، لازم است بررسی امکان‌سنجی تولید از مخازن شیلی از جمله ضرورت‌های پژوهشی و اجرایی صنعت نفت قرار گیرد. هرگونه تاخیر و قصور بیشتر در این امر به مثابه تداوم عقب‌ماندگی حتی از کشورهای همسایه است و نتیجه آن فرصت‌سوزی در تامین انرژی و عدم بهره‌گیری از این موهبت الهی تلقی خواهد شد.

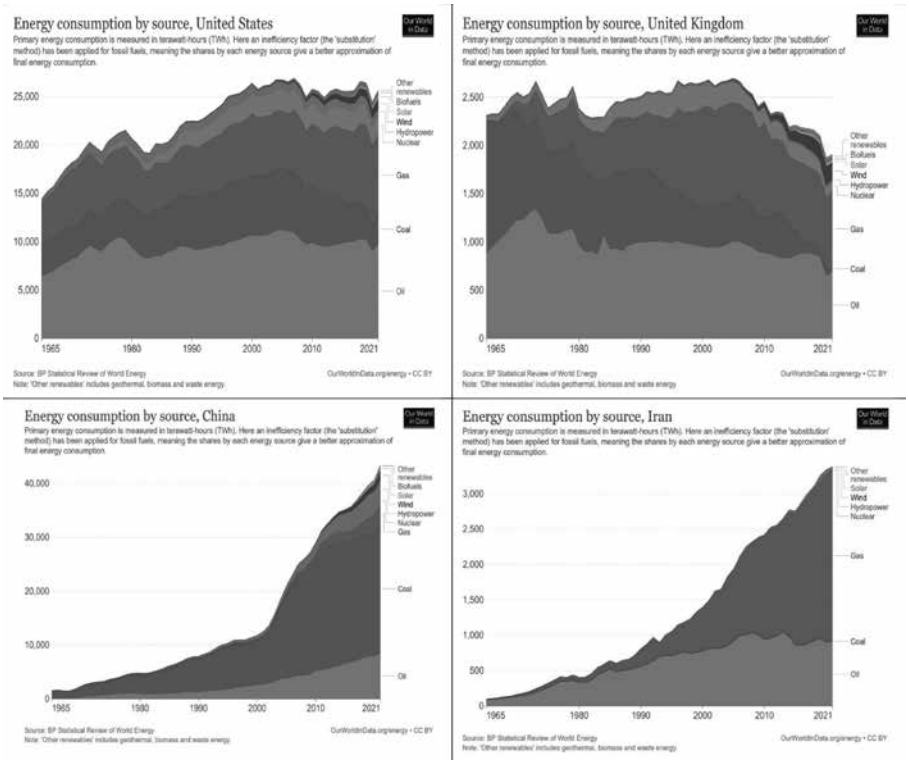
در شکل یك، میزان مصرف انرژی دنیا از سال ۱۸۵۰ میلادی ارائه و میزان مصرف تا سال ۲۰۵۰ پیش‌بینی شده است. در این بررسی افزایش مصرف گاز و انرژی‌های تجدید پذیر کاملا مشخص می‌باشد.



شکل ۱. نمودار مصرف انرژی های مختلف در دنیا



شکل ۲. نمودار میزان مصرف انرژی های مختلف در دنیا بر حسب تراوات ساعت



شکل ۳. نمودار میزان مصرف انرژی های مختلف در کشورهای آمریکا، انگلیس، چین و ایران بر حسب تراوات ساعت

۲. تئوری

در دنیا ذخایر غیرمتعارف بسیار بیشتر از ذخایر نفت و گاز متعارف است و استفاده از تکنیک‌های جدید همچون ایجاد شکستگی‌های چندبازه‌ای (multi interval fracturing) و بزرگ مقیاس (large scale fracturing) در چاه‌های افقی، در استخراج آنها بسیار گره‌گشا بوده است. اصولا بر طبق کارهای انجام شده در کشورهای خارجی برای اکتشاف و توسعه نفت و گاز مخازن شیلی پنج فناوری از همه مهمتر بوده که شامل موارد زیر است:

۱- فناوری‌های آزمایشگاهی
۲- فناوری چاه‌های لرزه‌ای پیش انباشت (Prestack seismic data)
۳- فناوری چاه افقی (Horizontal well)
۴- فناوری ایجاد شکستگی بزرگ مقیاس (Large scale fracturing)
۵- فناوری پایش و کنترل ریزلرزه‌ای (Microseismic monitoring)

۲-۱. تعریف شیل

مطابق تعریف، شیل سنگ آواری دانه ریز است که به سهولت ورقه ورقه و یا در امتداد سطوح معینی، خرد و شکسته می‌شود. در واقع، این سنگ‌های رسوبی دانه ریز در اثر سخت‌شدگی رس و سیلت یا گل تشکیل می‌شوند. شیل‌ها با ساختاری لایه‌ای (لایه‌هایی ظریف) و در راستای لایه‌بندی شناخته می‌شوند. این سنگ به آسانی به صورت لایه‌های نازک شکسته یا بریده می‌شود و ساختار لایه‌ای آن به طور معمول در سطوح هوازده خیلی واضح می‌باشد.
ترکیب شیمیایی شیل‌ها با زمان تغییر کرده و در دوره‌های مختلف متفاوت بوده‌اند. در دوره پالئوزوئیک به صورت ایلیت، در مزوزوئیک بصورت مونت موریلونیت و در دوره حاضر بصورت کائولونیت تشکیل گردیده‌اند. معمولا سیلیس و اکسیدهای آهن و آلومینیوم و درصد محدودی کربنات کلسیم از اجزای تشکیل‌دهنده شیل‌ها محسوب می‌شود لذا برخی از خصوصیات و ویژگی‌های ظاهری شیل به همین مواد تشکیل‌دهنده بستگی خواهد داشت. به عنوان مثال، با افزایش کربنات کلسیم که بطور معمول مقدار متوسط آن در شیل‌ها حدود ۶ درصد است درجه تورق شیل کاهش و در مقابل واکنش‌پذیری آن افزایش می‌یابد. و یا اینکه رنگ شیل‌ها بستگی بسیار زیادی به مقدار اکسید آهن آن دارد.
شیل فراوان‌ترین سنگ رسوبی است، اما تا دو دهه پیش کمتر به‌عنوان ذخیره هیدروکربنی در نظر گرفته شده بود به طوری که مطالعات مخزنی کمی بر روی آن نسبت به ماسه‌سنگ‌ها و سنگ‌های کربناته انجام‌شده است. از طرفی دیگر خصوصیات زمین‌شناسی و مخزنی شیل‌ها با یکدیگر حتی درون یک حوضه نیز بسیار متفاوت و متنوع است.
نفت شیلی به نفتی اطلاق می‌شود که درون خلل و فرج سنگ‌های منشاء در زیرزمین باقیمانده و مهاجرت نکرده است. معمولاً TOC از ۱ تا ۲۰ درصد و R_o ۰/۵ تا ۱/۳ درصد می‌باشد. گروه متنوعی از سنگ‌ها هستند که منشا نفت (دارای مواد آلی و غیر آلی) می‌باشند. نفت شیلی از نظر فضای انباشتگی و سیستم شکستگی-حفره مشابه گازشیلی است. برای نفت شیلی وجود شرایط و محیط‌های زمین‌شناسی خاص و معین، شامل سنگ منشا خوب، یک سیستم شکستگی- حفره(Fracture pore system) و عدم گذردهی مناسب سیستم شکستگی در لایه‌های ضخیم شیل و مادستون الزامی است.
شیل‌ها پیش از شکستن تقریباً ناتراوا هستند و این شکستگی‌ها با شکاف‌های مصنوعی در چاه‌های افقی/ مایل ایجاد می‌شوند. به طور کلی یک مخزن شیلی برای استخراج باید دارای ماده آلی کافی با درجه بلوغ لازم برای تولید گاز باشد و از نظر مکانیکی نیز قابلیت شکست هیدرولیکی و حفظ شکستگی‌ها را داشته باشد. نوع ماده آلی نیز در تشکیل منابع گاز شیلی مؤثر است. کروژن نوع ۳ (به عنوان تیپ گاز زا) در دامنه وسیعی از بلوغ خود، گاز تولید می‌کند، در حالی که کروژن

نوع ۲ ظرفیت بالاتری برای جذب متان دارد.
یکی دیگر از معیارهای ارزیابی منابع شیل گازی میزان بلوغ حرارتی مواد آلی است که هر چه بیشتر باشد میزان ضریب ویترینات Ro افزایش و در نتیجه تخلخل و ظرفیت ذخیره افزایش و در نهایت میزان گاز تولیدی بیشتر می‌شود. بر اساس کار آزمایشگاهی و تولید میدانی درعمده مخازن گاز شیلی تا حدود ۹۵ درصد حجم سیال گاز متان است و در مواردی نیز گاز متان آن کمتر می‌باشد به طوری که تا ۱۶ درصد حجم آن از C_2+ (گاز اتان و بالاتر) گزارش شده است.
برای آنکه یک توالی رسوبی قابلیت سنگ منشا و تولید گاز شیلی را داشته باشد، دارا بودن سه عامل از همه مهمتر است این عوامل عبارتند از:

۱- TOC بالاتر نشان از اشباع بالاتر گاز است TOC می‌باید بالاتر از ۲درصد باشد.
۲- بلوغ (maturity) که معمولاً شیل‌ها با Ro بزرگتر از ۱/۱ درصد می‌تواند به کمک پیرولیز حرارتی گاز تولید کند.
۳- خصوصیات سنگ‌شناسی شیل که می‌تواند تاثیر بسیار بر بهره‌دهی داشته باشد عموماً درصد کانی‌های شکننده (کوارتز، فلدسپار، کلسیت و..) باید به۳۰تا۴۰ درصد برسد بعلاوه اگر شکستگی‌ها در شیل گسترش داشته باشند گاز جذب شده می‌تواند به آسانی دفع شود.

۲-۲- تقسیم بندی شیل

شیل‌ها بر حسب بافت، سنگ‌شناسی و ترکیب کانی شناسی و همچنین مشخصات فیزیکی به انواع شیل های (الف) باقی مانده که مشخصات بافتی و کانی شناسی سنگ مادر را حفظ می‌کنند، (ب) شیل‌های توده‌ای که تورق و لایه‌بندی در آن‌ها پیشرفت نکرده، (ج) شیل‌های معمولی (د) شیل‌های قرمز و (ه) شیل‌های سیاه تقسیم بندی می‌شوند.
شیل‌ها را از نظر کانی‌های سیلتی موجود در آنها نیز طبقه‌بندی می‌کنند و از این رو می‌توان آنها را به چهار دسته تقسیم شیل‌های سیلیسی، شیل‌های فلدسپاتی، شیل‌های کلریتی و شیل‌های میکائی طبقه‌بندی نمود.

۲-۳- خصوصیات پایه ای گاز شیلی

خصوصیات عمده مخازن شیلی تحت عناوین زیر شرح داده می‌شود:

۲-۴- مقایسه شیل های نفتی و گازی

شیل‌های نفتی گروه متنوعی از سنگ‌ها هستندکه دارای مواد آلی بوده و در بیشتر حلال‌های آلی غیر قابل حل می‌باشند اما می‌توان به وسیله حرارت و با روش تقطیر آن‌ها را استخراج کرد. مواد آلی موجود عمدتا کروژن است و ممکن است بیتومن نیز داشته باشند. مقدار نفتی که می‌توان استخراج کرد حدود ۴ الی ۵۰ درصد وزن سنگ متغیر خواهد بود. به عبارت دیگر بین ۱۰ تا ۱۵۰ گالن نفت در هر تن سنگ، و یا ۵۰ تا ۷۰ لیتر در هر هزار کیلوگرم قابل استخراج خواهد بود. شیل‌های نفتی دارای مقدار قابل توجهی مواد غیر آلی هستند که عمدتا از کوارتز در اندازه سیلت و کانی‌های رسی تشکیل شده‌اند. بیشتر مواد آلی در شیل‌های نفتی بصورت ذرات پراکنده می‌باشند. موجودات منشا تشکیل آنها قابل تشخیص نبوده و در بسیاری از شیل‌های نفتی، جلبك و اسپورهای جلبکی فراوانند. بنابراین فرض بر این است که بسیاری از مواد آلی دارای منشا جلبکی باشند. به عنوان مثال می‌توان به شیل‌های نفتی قالی کوه (سازندهای سرگلو و گرو) در لرستان اشاره کرد.
شیل‌های گازی نیز گروهی از سنگ‌های رسی حاوی متان محبوس در اعماق زیرین می‌باشند که بوسیله حرارت و یا شکست هیدرولیکی می‌توان متان محبوس را استخراج نمود. به دلیل تراوایی و تخلخل کم، برخلاف مخازن معمولی گازی استخراج گاز به راحتی از آنها صورت نمی‌گیرد و نیازمند تکنولوژی‌های خاصی همچون شکست هیدرولیکی و حفاری افقی است. این مخازن بر اساس نوع سنگ بستر و سیال درون آنها در طبیعت بصورت‌های مختلف یافت می‌شوند. گاز شیل، بستر زغال سنگ حاوی متان، هیدرات‌های گازی و ماسه

خصوصیات زمین شناسی	سنگ منشا و مخزن یکپارچه، شکل گیری اولیه مخزن، تجمع پیوسته و فقدان مرز آشکار تله؛ پوش سنگ کماکان ضروری است	شرایط تجمع و تولید زیاد برای ناحیه مرکزی
	پتانسیل منابع بزرگ، با نواحی مرکزی "منطقه غنی از هیدروکربن" محلی	شرایط تجمع و تولید زیاد برای ناحیه مرکزی (۱) TOC>2% (کربن آلی غیر باقی مانده)
	مخزن فشرده و اغلب حفرات در مقیاس نانو؛ گاز طبیعی با الگوی گاز جذب سطحی شده و گاز آزاد نگهداری می شود.	(۲) مقدار کانی شکننده (برای مثال کوارتز) بیش از ۴۰ ٪ و مقدار کانی رسی کمتر از ۳۰ ٪
	عدم کنترل توسط ساختمان، پیوسته و توزیع در ناحیه وسیع، ناحیه ای به همان اندازه سنگ منشا موثر زایش گاز	(۳) بلوغ شیل تیره غنی از ماده آلی بالای ۱/۱ ٪ (۴) تخلخل هوا بیش از ۲٪، تراوایی بالای ۱۰۳ * ۰/۰۰۱ میکرومترمربع (۵) ضخامت موثر شیل غنی از ماده آلی بالای ۵۰-۳۰ متر
خصوصیات توسعه	چرخه کوتاه تولید چاه و چرخه طولانی تولید میدان	توسعه کارآمد مستلزم حفر چاه های افقی، ایجاد شکستگی در چند مرحله، میکرولرزه ای و دیگر فناوری های پیشرفته برای اعمال روش های انگیزش مخزن
	بیشتر جریان غیر دارسی، بدون تولید آب و یا تولید آب بسیار کم	
	ضریب بازیافت پایینتر	

جدول۱: خصوصیات عمده مخازن گاز شیلی

#	ویژگی‌ها	تجمعات نفتی پیوسته	نهشته های نفتی متعارف به(تله افتاده)
۱	توزیع	گسترده، توزیع پیوسته در شیب و مرکز حوضه	توزیع ناپیوسته
۲	مخزن	بزرگ مقیاس، مخازن کم تراوای غیرمتعارف	مخازن متعارف
۳	وضعیت سنگهای منشا و مخزن	در یک جا هستند.	پیچیده، با وضعیت های مختلف
۴	نفت گیر	تعریف نامشخص، نفتگیر باز	تعریف مشخص، نفتگیر بسته
۵	مهاجرت	مهاجرت اولیه یا مهاجرت ثانویه در مسافت کوتاه	مهاجرت ثانویه در مسافت طولانی
۶	انباشتگی	نیروی شناوری به صورت محدود	نیروی شناوری نیروی اصلی است
۷	مکانیسم تراوش سیال (Percolation)	جریان دارسی وجود ندارد	جریان دارسی
۸	رابطهٔ سیال	مرزهای نامشخص سیال، با سیستم های فشار و بلوغ هیدروکربن زیاد تغییر می کنند.	مرزهای مشخص سیال
۹	ارزیابی ذخایر	استوار بر تولید چاه پیلوت با وقور نسبی منابع	بر مبنای مشخصه های نفتگیر
۱۰	فناوری	فناوری های ویژه	فناوری های معمول

جدول ۲ - تفاوت تجمعات نفتی پیوسته و نهشته های نفتی متعارف (به تله افتاده)

سنگ‌های متراکم گازی اشکال مختلف این مخازن هستند.
گاز تولیدی از مخازن شیل گازدار از دو منبع گاز آزاد موجود در خلل و فرج و شکاف‌ها و گازی که به سطح کانی و ماده آلی در شیل چسبیده تولید خواهد شد. شیل‌های گازی دارای تخلخلی در حدود ۴ الی ۶ درصد بوده و میزان هیدروکربور محبوس حدود ۴ درصد وزنی است[۳].
به عنوان مثال می‌توان به سازند کشف رود در حوضه کپه داغ اشاره کرد.
این سازند در برگیرنده ذخایر قابل توجهی گاز تر- میعانات گازی است. سازندهای سرگلو و گرو در بخش مرکزی لرستان دارای پتانسیل فراوانی از نظر شیل گازی هستند و با شیل‌های گازی Barnett Shale قابل مقایسه هستند. سازند سرگلو در چاه‌های ماهیدشت، هولیالن و شاه‌آباد و سازند گرو با سنگ‌شناسی آهک رسی سیاه رادیولردار در چاه‌های انجیر، ویزهنار، شاه آباد، دره بانه، ماهیدشت و باباقیر در ناحیه لرستان از نظر پتانسیل و توان تولید اقتصادی مناسب ارزیابی می‌شوند.
مهمترین تفاوت تجمعات نفتی پیوسته با نهشته‌های نفتی متعارف در تعریف تله، محدوده توزیع، سطوح تماس گاز / نفت و نفت / آب و سیستم فشار می‌باشد به عبارتی تجمعات نفتی پیوسته تله‌های نامریی(invisible) دارند و نفت و گاز درون مخازن گسترده انباشته شده‌اند در حالی که تجمعات نفتی متعارف تله‌های نفتی مرئی(visible) و شکلی آشکار و واضح دارند. در جدول ۲، تفاوت زمین شناسی نفت متعارف و غیر متعارف بطور اختصار شرح داده شده است. شکل ۴ نیز مقایسه شیل‌های نفتی و گازی از نظر بلوغ حرارتی را نشان می‌دهد.

۵-۲- پراکندگی شیل‌های گازی در دنیا

طبق آمار اداره کل اطلاعات انرژی (Energy Information Administration)، کشورهای روسیه، آمریکا و چین بیشترین برداشت از منابع نفتی شیل را در دنیا داشته‌اند. جدول ذیل جزئیات بیشتر را نشان می‌دهد.
در تولید گاز از منابع شیلی در دنیا نیز کشور چین پیشتاز در برداشت از این منابع می‌باشد. جدول ذیل جزئیات بیشتر را نشان می‌دهد.

Rank	Country	Shale oil (billion barrels)	
1	Russia	75	
2	U.S.[1]	58	(48)
3	China	32	
4	Argentina	27	
5	Libya	26	
6	Venezuela	13	
7	Mexico	13	
8	Pakistan	9	
9	Canada	9	
10	Indonesia	8	
	World Total	345	(335)

جدول ۳ – ده کشور برتر تولید کننده نفت از منابع نفت شیل

نامتعارف در دنیا می‌توان بیان داشت که هر سه خاصیت سنگ منشاء، سنگ مخزن و سنگ پوشش در یک سازند شیلی غنی از مواد آلی وجود دارد. در ایران سازند کژدمی پلاژیک در فرو افتادگی دزفول و سازندهای شیلی سرچاهان و سیاهو در ناحیه فارس (همچنین خلیج فارس) و سازندهای شیلی گرو و سرگلو در ناحیه لرستان و قسمتی از خوزستان از این امر مستثنی نمی‌باشند و

Table 6. Top 10 countries with technically recoverable shale gas resources

Rank	Country	Shale gas (trillion cubic feet)	
1	China	1,115	
2	Argentina	802	
3	Algeria	707	
4	U.S.[1]	665	(1,161)
5	Canada	573	
6	Mexico	545	
7	Australia	437	
8	South Africa	390	
9	Russia	285	
10	Brazil	245	
	World Total	7,299	(7,795)

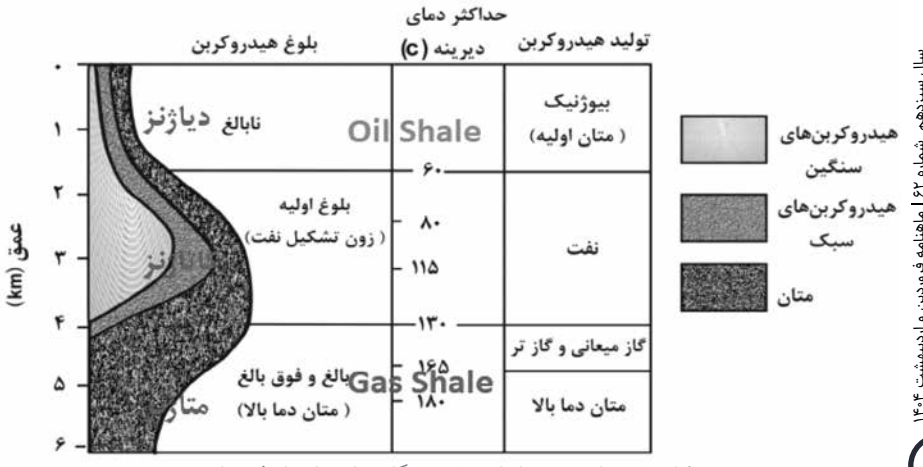
[1] EIA estimates used for ranking order. ARI estimates in parentheses.

جدول ۴ – ده کشور برتر تولید کننده گاز از منابع گاز شیل

۳. گام‌های مطالعاتی و اجرایی

بر اساس بهره‌برداری‌های انجام شده از ذخایر می‌توان آنها را مد نظر قرار داد و براساس آن یک برنامه‌ریزی گام به گام و منسجم در جهت بهره‌برداری از ذخایر مخازن شیلی نامتعارف داشت. این برنامه‌ریزی شامل مطالعات زمین‌شناسی ناحیه‌ای، مطالعه ژئو شیمی، مطالعه ارزیابی پتروفیزیکی، محاسبه میزان هیدروکربور درجا، مطالعه ژئومکانیکی، مطالعه ژئوفیزیکی، مدل‌سازی استاتیکی، یکپارچه‌سازی داده‌ها و ارائه نقشه نقاط مطلوب (Sweet Spot) در فاز مطالعاتی بوده و در فاز اجرا شامل مراحل حفاری بصورت حفاری پیشرفته افقی و فناوری پایش ریزلرزه‌ای، مغزه‌گیری، بررسی و انجام آزمایشات چاه و لایه شکافی هیدرولیکی می‌باشد.

۴. محاسبات اقتصادی و برآورد منابع



شکل ۴. مقایسه شیلهای نفتی و گازی از نظر بلوغ حرارتی

الف- محاسبات اقتصادی

میزان گاز آزاد، گاز جذب شده و گاز محلول سه کمیتی هستند که در تعیین اقتصادی بودن ذخیره نقش اساسی خواهند داشت. حداقل مقدار گاز شیلی برای توسعه تجاری دارای استانداردهای متفاوت است. شورای نویسندگان "مجموعه زمین‌شناسی و اکتشاف و توسعه گاز شیلی" منتشر شده در سال ۲۰۰۹ عدد ۲/۸ متر مکعب در تن و در آمریکای شمالی میزان ۱/۱ متر مکعب در تن را حداقل مقدار گاز شیلی جهت برداشت اقتصادی از منابع اعلام نموده‌اند. بالاترین مقدار جهت برداشت می‌تواند به ۹/۹ متر مکعب در تن برسد. با احتساب هزینه یك دلاری برای استحصال هزار فوت مکعب گاز و قیمت یازده دلار برای هر هزار فوت مکعب گاز، سودی معادل ده دلار به ازای تولید هر هزار فوت مکعب گاز بدست خواهد آمد.

مقدار و کیفیت ماده آلی در شیل، از عوامل کلیدی در مقدار گازدار بودن منبع از جهت زایش و تجمع می‌باشند. گاز جذب شده به مواد آلی و کانی‌های رسی و گاز آزاد به حفرات ماتریکس مرتبط می‌باشد. حداقل TOC توسط اکثر شرکت‌ها و موسسات تحقیقاتی بر اساس تجربیات مبتنی بر اکتشاف و توسعه معادل ۲ درصد اعلام نموده‌اند. بلوغ ماده آلی (R۰) جهت تشکیل گاز شیلی نیز می‌بایست بالاتر از عدد ۱/۲ درصد باشد. استانداردهای کلیدی ارزیابی زمین‌شناسی برای تولید از منابع شیلی و نواحی تجمع به قرار ذیل است:

a. کل TOC بیشتر از ۲ درصد باشد.
b. وجود کانی‌های شکننده: برای مثال کوارتز، بالای ۴۰درصد، رس کمتر از ۳۰درصد، شیل، کمتر از ۴۰درصد.
c. بلوغ شیل غنی از ماده آلی، بیشتر از ۱/۱ درصد.
d. تخلخل هوا بیشتر از ۲درصد، تراوایی بیشتر از ۰/۱ میلی دارسی.
e. ضخامت موثر شیل غنی از ماده آلی بیشتر از ۳۰ متر

ب- روش‌های برآورد منابع

در متداول‌ترین روش‌های ارزیابی منابع غیرمتعارف، مقایسه‌های تطبیقی صورت می‌پذیرد. این روش‌های ارزیابی به سه دسته الف- روش‌های مقایسه ب- روش‌های آمار و ج- روش‌های تکوینی تقسیم‌بندی می‌شوند. در روش‌های مقایسه، تخمین منبع بر اساس یك نهشته هیدروکربنی مشابه انجام می‌شود که دارای مقدار ذخیره مشخص باشد. این روش مشابه روش مقایسه (Analogy Method) در تخمین منابع متعارف می‌باشد. روش‌های آماری شامل روش‌های حجمی، مدل‌های توالی ذخائر " نقاط غنی از هیدروکربور" (Reserve Sequence Models of Sweet Spots)، فرآیند اکتشاف " نقاط غنی از هیدروکربور". تخمین براساس ذخائر یك چاه (Estimation of Single Well Reserves) پیش‌بینی بر اساس پراکندگی منابع خواهند بود. این روش‌ها مشابه روش‌های برآورد منابع در مخازن متعارف خواهند بود. اما روش تکوینی (Genesis Model) شامل مدل‌سازی حوضه و روش شبیه‌سازی پیرولیز (Pyrolysis Simulation Method) خواهد بود. در این پروژه روش تخمین به کمك یك چاه پیشنهاد می‌گردد. این شیوه یك روش آماری مرسوم است که ARI (Advanced Resources International) آن را پیشنهاد داده است. معادله‌ای که در این روش بکار می‌رود به شکل زیر خواهد بود:

$$G = \sum_{i=1}^{n} q_i \cdot f$$

در این معادله:
G: ذخیره ناحیه ارزیابی
qi: ذخیره چاه منفرد
i: شماره کمیت AU (مساحت کل واحد برآورد، Assessment Unit)
n: تعداد کل واحدهای برآورد
f: مقدار موفقیت حفاری

۵. محدودیتها و موانع

- مشکلات زیست محیطی
- عدم شناخت کافی ذخایر نامتعارف، گستردگی و برآورد ذخیره در جای آنها
- نداشتن دانش و تکنولوژی کافی و مناسب برای اکتشاف و بهره‌برداری از ذخایر نامتعارف
- مشکلات مربوط به ورود تجهیزات به کشور
- مشکل و پیچیده بودن اکتشاف و بهره‌برداری
- نیاز به سرمایه‌گذاری کلان برای اکتشاف و بهره‌برداری
- نبود یا ناکافی بودن بستر مناسب برای تمرکز روی ذخایر نامتعارف

۶. پیشنهادات

- تغییر نگرش‌ها و ورود و پایه گذاری جدی دانش نوین در کشور به خصوص در دانشگاه صنعت نفت و پژوهشگاه صنعت نفت و همچنین انتقال آن به بدنه اصلی شرکت ملی نفت.
- ارائه راهکار و برنامه‌ریزی مناسب جهت ورود به فناوری‌های نوین مرتبط با بهره‌برداری از این مخازن و انتقال آن به داخل کشور با سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی مدون
- برنامه‌ریزی جهت ایجاد زیرساخت‌های صنعتی مرتبط با توسعه و بهره‌برداری از گاز و نفت مخازن شیلی از جمله مهیا نمودن، تجمیع و سوق دادن امکانات صنعت نفت برای تکنیک‌های لرزه‌نگاری سه بعدی (داده‌های لرزه‌ای قبل از برانباشت pre-stack)، شکست چند مرحله‌ای و شکست چندبازه‌ای در چاه‌های افقی با مقیاس بزرگ و به شیوه هیدرولیکی و هیدروجت و...، تکنیک پایش ریزلرزه‌ای (passive seismic)
- تشکیل کمیته راهبردی مشترک بین وزارت نفت و وزارت علوم در راستای اکتشاف و بهره برداری از ذخایر نامتعارف کشور
- استفاده از مشاوران داخلی و خارجی مجرب در زمینه مطالعه مخازن نامتعارف
- فراهم ساختن امکانات و تسهیلات لازم برای استقرار و فعالیت استارت آپ‌ها، شرکت‌های اسپین آف و شرکت‌های دانش‌بنیان در پارک‌های فناوری و نوآوری نفت و گاز
- غربالگری دانش فنی دانشگاه‌ها/ پارک‌های نفت و گاز از طریق تشکیل کمیته‌های تخصصی از صنعت و دانشگاه
- شناسایی شرکت‌های دانش‌بنیان توانا در زمینه طراحی و ورود تکنولوژی اکتشاف و بهره‌برداری از ذخایر نفت و گاز نامتعارف کشور
- اتصال سرمایه‌گذاران داخلی و خارجی معتبر و توانا به بدنه سازمان از طریق شرکت‌های دانش بنیان غربالگری شده
- پیوستن ایران به جمع تولیدکنندگان نفت و گاز غیرمتعارف

منابع:

۱- میثم حسن نژاد، مصیب کمری، شاهین پرچه‌خواری "بررسی کلیات، پراکندگی و چالش‌های مخازن نامتعارف گازی" سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین بهمن ۹۲، اهواز

۲- حسن امیری بختیار، بهمن سلیمانی، محمدرضا نورایی نژاد، محمدحسین حیدری فرد، محمدصادق امیری بختیار، عبدالنبی آرین فرد، بهمن گودرزی، امیر سمنانی "اکتشاف، توسعه و بهره برداری از مخازن شیلی ایران"، ۱۴۰۰

۳- US Geological Survey, ۲۰۰۲, National assessment of oil and gas fact sheet: National gas production in the united states, Fact sheet FS – ۱۱۳ – ۰۱.

۴- A. Kadkhodaie, R. Kadkhodaie, ۲۰۲۲, " Reservoir Characterization of Tight Gas Sand stones"

۵- Caineng Zou, et al., ۲۰۱۷, "Unconventional Petroleum Geology", Second Edition.

توسعه مدل یکپارچه نگر برای رفع ناترازی انرژی

مصطفی ابراهیمی مقدم - شرکت مهندسی و توسعه گاز ایران، Mostafa.ebrahimi@gmail.com
محمد مهدی نجفی - شرکت مهندسی و توسعه گاز ایران، M.m.najafi2024@gmail.com
افشین امامی خواه - شرکت مهندسی و توسعه گاز ایران، Afshin.emamikhah@gmail.com

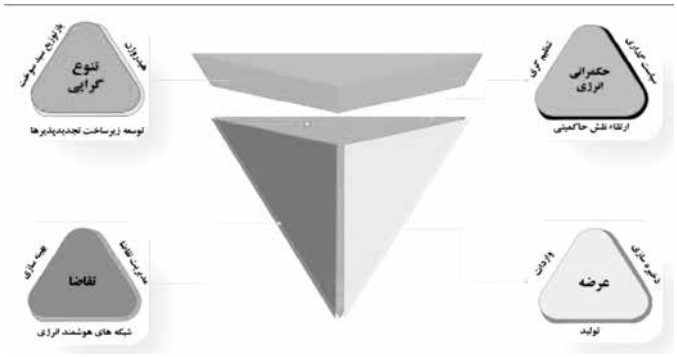
چکیده
منابع انرژی مهم‌ترین عوامل و عناصر توسعه پایدار هستند. کشور ایران علاوه بر برخورداری از مجموع ذخائر غنی سوخت‌های فسیلی، ظرفیت فراوانی برای استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر دارد، اما در حوزه انرژی (برق، گاز و فراورده) دچار ناترازی شده به طوری که در فصل تابستان با کمبود برق و در پاییز و زمستان با کمبود گاز مواجه شده و اخیراً نیز وضعیت بنزین از ناترازی به کسری تبدیل شده است. در این مقاله سعی شده است تا با نگاهی جامع‌نگر در زیست‌بوم انرژی کشور، مدلی برای توسعه ساختار مناسب به منظور رفع ناترازی در ایران ارائه شود. مدل توسعه داده شده در این پژوهش برای رفع ناترازی، دارای چهار بخش اساسی حکمرانی انرژی، عرضه، تقاضا و تنوع‌گرایی بوده که به صورت وجه‌های یک منشور با هم مرتبط هستند. لازم به ذکر است قاعده این منشور که تجمیع‌کننده و منسجم‌کننده آن به شمار می‌رود، در اصل بخش حکمرانی انرژی است که مهم‌ترین بخش خواهد بود. رویکرد یکپارچه‌نگری در این مدل، انسجام‌دهنده ساختار سیاست‌گذار، تنظیم‌گری و تنظیم روابط میان بخش‌های مختلف است تا به ابعاد درگیر در ناترازی انرژی کشور بپردازد.

۱- مقدمه
ناترازی انرژی یکی از چالش‌های اساسی در بخش‌های انرژی ایران محسوب می‌شود که می‌تواند تأثیرات منفی اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی به همراه داشته باشد. با توجه به افزایش مصرف انرژی، توسعه تک‌بعدی بر مبنای گاز و همچنین وابستگی شدید برق تولیدی به گاز و فرآورده، کشور ایران را با کاهش منابع فسیلی مواجه نموده است به طوری که به واسطه وابستگی ۹۵ درصدی برق تولیدی به گاز و فرآورده، با چالش ناترازی انرژی مواجه شده است. بر اساس ترازنامه ۱۴۰۰، ایران کمتر از ۰/۵ درصد انرژی عرضه شده در کشور را از منابع تجدیدپذیر تأمین می‌کند که این عدد در سطح جهانی ۱۵ درصد در سال مشابه است [۱]. عدم توسعه متوازن حامل‌ها، در کنار نبود ساختار یکپارچه‌نگر در حوزه عرضه و تقاضای انرژی در ایران، از مهمترین دلایل ایجاد ناترازی انرژی است.
در مطالعه Gozgor و Paramati در سال ۲۰۲۲ به بررسی اثر تنوع انرژی بر توسعه اقتصادی کشورهای مختلف پرداخته شده است [۲]. یافته‌ها نشان می‌دهد که اقتصادهای بزرگ با افزایش تنوع انرژی بلندمدت، رشد اقتصادی مثبتی را درک می‌کنند. با این حال، برخی کشورها به دلیل تنوع انرژی در کوتاه مدت، رشد اقتصادی منفی را تجربه می‌کنند. همچنین در تحقیقات Drago و Gatto ایجاد سیاست‌ها، قوانین و ساختارهای نهادی برای حفظ انرژی‌های تجدیدپذیر پر اهمیت تلقی شده است، زیرا کشورهایی که به دنبال تحریک سرمایه‌گذاری‌ها و تقویت بخش انرژی خود هستند، از همین مقررات برای نیل به اهداف خود بهره می‌برند [۳]. عظیم‌زاده آرانی و همکاران تدریجی بودن روند تغییر ساختار حکمرانی انرژی و اجتناب از اقدامات کوتاه مدت را عاملی مهم در اصلاح ساختار انرژی کشور می‌دانند [۴]. تنوع تأمین انرژی با تفکری استراتژیک، منجر به افزایش انعطاف‌پذیری و سازگاری برای کشورهایی می‌شود که با چالش انرژی مواجه هستند [۵]. بنابراین، افزایش مصرف انرژی در جهان، تنوع در منابع انرژی و اهداف ضروری زیست محیطی، تعادل عرضه و تقاضای انرژی را به یک چالش بزرگ تبدیل کرده است [۶]. در سال‌های اخیر اصطلاحاتی همانند «انرژی هوشمند» و «سیستم‌های انرژی هوشمند» مطرح شده است تا راهگشای تحولات مقرون به صرفه، پایدار و دست‌یافتنی در آینده باشد، ولی ابتدا نیاز به زیرساخت‌های مناسب در حوزه انرژی است تا پس از آن بهره‌مندی منسجم و بهینه‌ای از راه‌حل‌ها، مدل‌ها و ساختارها در مسیر دستیابی به نوآوری‌ها به وجود آید. در این مقاله با مطالعه اسناد بالادستی، نظریات نخبگان در حوزه‌های مختلف و مرور پژوهش‌های مرتبط با حوزه انرژی تلاش بر آن شده تا مدلی جامع برای یکپارچه‌سازی ساختارهای زیست بوم انرژی ایران به منظور رفع ناترازی توسعه داده شود. در این مدل، ساختار سیاست‌گذار، تنظیم‌گری و تنظیم روابط میان بخش‌های مختلف به منظور مدیریت یکپارچه، به عنوان قاعده و نظم‌دهنده زیست بوم انرژی در کشور در نظر گرفته شده تا با یک دید کل‌نگر و یکپارچه‌نگر، به مدیریت بخش‌های مرتبط با عرضه، تقاضا و تنوع‌گرایی بپردازد. در اصل نوآوری این مدل به نگاه فراگیر در همه ابعاد درگیر با ناترازی انرژی بر می‌گردد.

۲- تجزیه-تحلیل مدل

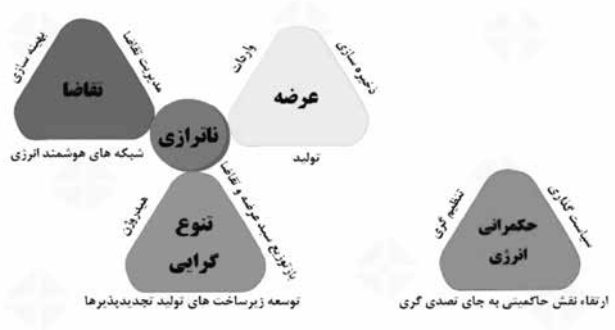
مطابق آمارهای موجود، مقدار کمبود برق در تابستان و ساعات پیک مصرف تقریبا ۱۸ درصد ظرفیت برق تولیدی است؛ این در حالی است که مقدار ناترازی گاز در زمستان تقریبا ۳۶ درصد از گاز تولیدی کشور است [۷]. بنابراین، ناترازی گاز نسبت به ظرفیت تولیدی در وضعیت وخیم‌تری قرار دارد. در حوزه فرآورده نیز کمبود در تأمین بنزین مورد نیاز وجود دارد.

برای رفع ناترازی‌ها لازم است نگاهی به زیست‌بوم انرژی کشور داشت تا با تفکیک بخش‌های مختلف درگیر در بخش‌های عرضه و تقاضا، ملزومات، راهبردها و اقدامات اجرایی آن‌ها را به صورت جداگانه ارزیابی نمود. بدین منظور، در دید کلان، عرضه انرژی شامل سه حوزه تولید، واردات و ذخیره‌سازی خواهد بود. بخش تقاضا نیز شامل مدیریت مصرف، بهینه‌سازی مصرف و شبکه‌های هوشمند است. با توجه به ارزیابی‌های انجام شده و وابستگی شدید انرژی در کشور به گاز و فرآورده، و حتی فراتر از آن، تأمین بیش از ۹۵ درصد برق کشور با کمک گاز طبیعی و فرآورده، تنوع‌گرایی سومین تنه اصلی در کنترل و رفع ناترازی خواهد بود. در کنار این موارد، به منظور یکپارچه‌سازی اقدامات مرتبط با رفع ناترازی و یکپارچه‌نگری در حوزه انرژی، لازم است یک ساختار منسجم بتواند سیاست‌گذاری، تنظیم‌گری و تنظیم روابط را انجام داده و با شکل‌گیری حکمرانی انرژی در کشور، زیست‌بوم انرژی کشور به شکل یکپارچه مدیریت شود. در شکل ۱ این ساختار نشان داده شده است.



شکل ۱. ساختار مدیریت ناترازی در زیست‌بوم انرژی

با توجه به موارد بیان شده، مدل منشور پایداری انرژی در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲. مدل منشور پایداری انرژی

۲-۱- حکمرانی انرژی

در بخش انرژی ایران مسائل متفاوت و درهم تنیده‌ای همانند بروز ناترازی انرژی در سال‌های اخیر، وابستگی اقتصاد ایران به درآمدهای حاصل از حامل‌های انرژی (نفت و گاز)، یارانه انرژی، شیوه قیمت‌گذاری‌ها، پایین بودن بهره‌وری در بخش تولید، انتقال و توزیع برق، شیوه اختصاص و تأمین و مصرف حامل‌های انرژی، استفاده از موقعیت ژئوپلیتیک در پیشبرد دیپلماسی انرژی و غیره وجود دارد. هریک از این مشکلات دلایل مختص به خود را دارند، اما وقتی به صورت یکپارچه دیده می‌شوند، مشکل ساختاری موجود در بخش انرژی ایران را یادآوری می‌کنند. حکمرانی انرژی به معنای مداخله حاکمیت در اهداف، سیاست‌ها، بازیگران، نهادها و روابط بین آنان در بخش انرژی جهت کسب منفعت عمومی است [۸]. برای بررسی وضعیت حکمرانی انرژی کشورها می‌بایست چهار عنصر اصلی حکمرانی شامل پارادایم سیاستی، اهداف سیاستی، نهادهای سیاستی و ابزارهای سیاستی در آن کشور مورد بررسی قرار گیرد.

نهادهای سیاستی بخش انرژی دارای یکی از چهار نقش سیاست‌گذاری، تنظیم‌گری، تسهیل‌گری و تصدی‌گری هستند. ریشه مشکلات حکمرانی انرژی ایران در تداخل حکمرانی و تصدی‌گری، وابستگی بودجه دولت‌ها به درآمدهای حاصل از انرژی، عدم شفافیت و نبود نظام جامع اطلاعات انرژی، نبود سیاست‌های جامع بخش انرژی و نبود سیاست‌گذار و تنظیم‌گر کارآمد انرژی خلاصه می‌شود [۹]. از این رو باید حکمرانی انرژی را در سه عنصر سیاست‌گذاری، تنظیم‌گری و ارتقاء نقش حاکمیتی بررسی نمود.

۲-۲- عرضه

بخش عرضه خود به سه زیر بخش تولید، واردات و ذخیره‌سازی تقسیم می‌شود. با توجه به بروز کمبودها و ناترازی‌های کشور در حوزه سوخت‌های فسیلی و همچنین برق به عنوان حامل ثانویه، لازم است در سیاست‌گذاری برای تولید انرژی در کشور، تغییر رویکرد داشته و با نگاهی یکپارچه‌نگر در حوزه حامل‌های مورد نیاز برای مصارف بخش نهایی نسبت به سیاست‌گذاری بخش تولید و عرضه انرژی اقدام کرد. مهم‌ترین اقدامات در حوزه تولید انرژی عبارتند از:

- توسعه سامانه‌های سرچاهی به منظور افزایش تولید
- ایجاد جذابیت سرمایه‌گذاری به منظور مشارکت بخش خصوصی در بخش تولید نفت و گاز
- افزایش ظرفیت تولید نفت و گاز
- افزایش ظرفیت استخراج زغال سنگ حرارتی
- مدیریت منابع زیست توده
- ایجاد ظرفیت‌های پالایشی جدید
- افزایش ظرفیت استفاده از انرژی هسته‌ای

همچنین افزایش سهم تجدیدپذیرها در سبد تولید برق و سبد سوخت که به سه بخش تقسیم می‌شوند:

۱- منابع پایدار: منابعی که تولید از آن‌ها در ساعات مختلف شبانه‌روز به‌صورت پایدار است، مانند زمین‌گرمایی، بازیافت حرارتی، زیست‌توده، توربو اکسپندر

۲- منابع ناپایدار: منابعی که تولید از آن‌ها در ساعات مختلف شبانه‌روز پایدار نیست و صرفاً در ساعات خاصی امکان تولید برق وجود دارد، مانند بادی، خورشیدی

۳- انرژی هیدروژن

مهم‌ترین اقدامات در زیربخش واردات عبارتند از:

- سیاست‌گذاری در حوزه واردات زغال سنگ و توسعه نیروگاه‌های زغال سنگ با راندمان بالا

• استفاده از ظرفیت‌های سواپ برای مبادله حامل‌های وارداتی با صدور خدمات فنی و مهندسی
• توسعه مدل‌های کسب و کار جدید و بهره‌مندی از ظرفیت‌های بخش خصوصی در زمینه واردات و سواپ حامل‌ها

ذخیره‌سازی انرژی نیز یکی از مهم‌ترین موارد در رفع ناترازی انرژی است. عملکرد سیستم‌های ذخیره‌سازی به این صورت است که در زمان‌هایی که میزان عرضه برق بیشتر از تقاضا است، مازاد تولید را ذخیره کرده و در زمانی که میزان تقاضا از عرضه بیشتر می‌شود، انرژی ذخیره شده خود را برای ایجاد تعادل در شبکه عرضه می‌کنند. ذخیره‌سازی گاز به صورت گاز طبیعی مایع (LNG)، گاز طبیعی جذب‌شده (ANG)، مخازن زیرزمینی (مخازن هیدروکربوری، گنبدهای نمکی و آبخوان) از جمله روش‌های ذخیره‌سازی گاز هستند.

۳-۲- تقاضا

با توجه به مدل ارائه شده، این حوزه شامل سه زیر بخش بهینه‌سازی، مدیریت تقاضا و توسعه شبکه‌های هوشمند انرژی است. ۹۸/۵ درصد از انرژی عرضه شده در کشور را گاز و فرآورده تشکیل می‌دهد. بخش‌های نیروگاه، خانگی، صنعت و انتقال انرژی، جمعا ۸۷درصد از گاز تولیدی کشور و بخش‌های حمل و نقل و نیروگاه جمعا ۷۴درصد از فرآورده تولیدی کشور را مصرف می‌کنند. در حالت کلی بخش‌های نیروگاه، خانگی، صنعت و حمل و نقل، ۸۲ درصد از کل گاز و فرآورده عرضه شده در کشور را مصرف می‌کنند. با توجه به بالا بودن مقدار مصرف انرژی به ویژه گاز در نیروگاه‌ها (تقریباً ۲۸ درصد کل انرژی عرضه شده در کشور و ۳۰ از کل گاز عرضه شده در کشور)، همچنین، قابلیت پایش میزان هدر رفت انرژی، اجرای بهتر به دلیل تعداد کم نسبت به سایر بخش‌ها و وجود الزامات قانونی متعدد، برنامه‌ریزی برای بهینه‌سازی نیروگاه‌ها را در اولویت قرار می‌دهد.

بنابراین، بر اساس اصل پارتو، با توجه به این‌که در بخش تقاضا نیازمندی پنج بخش نیروگاه، خانگی، صنعت، حمل و نقل و انتقال به انرژی است که ۸۲ درصد از گاز و فرآورده و ۷۲ درصد برق عرضه شده کشور را مصرف می‌کنند، برنامه‌ریزی هدفمند تأثیر زیادی بر رفع ناترازی انرژی دارد. حامل‌هایی که بیشترین اهمیت در هر بخش را دارند در جدول ۱ مشخص شده‌اند.

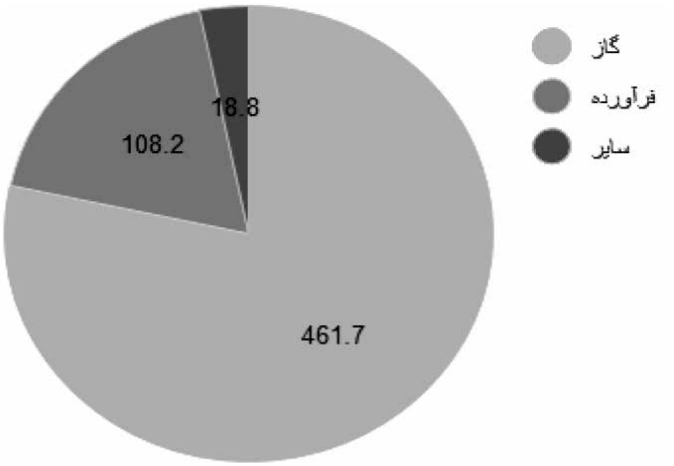
ردیف	حامل‌های انرژی	محل استفاده				
۱	گاز	نیروگاه	خانگی	صنعت	انتقال انرژی	
۲	فرآورده	حمل و نقل	نیروگاه			
۳	برق	صنعت	خانگی	انتقال انرژی	تجاری و عمومی	کشاورزی

جدول۱. محل استفاده حامل‌های انرژی

۴-۲- تنوع‌گرایی سبد سوختی

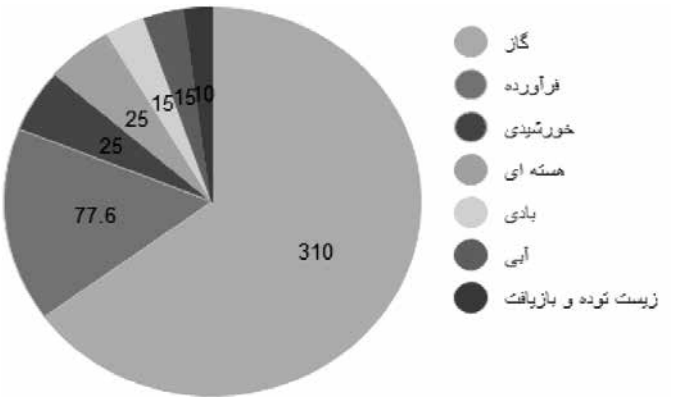
با دید یکپارچه به زیست‌بوم انرژی، کمبود عرضه برق در فصل تابستان و به تبع آن ناترازی برق، به دلیل کاهش سطوح تولید برق در مقایسه با میزان تقاضا در دوران اوج مصرف و پیک بوده که به ظرفیت پایین نیروگاهی برمی‌گردد. بخش اعظمی از ناترازی گاز نیز ناشی از عدم ذخیره‌سازی گاز در تابستان و تخصیص آن به تولید برق بیشتر است. پس در صورت جایگزینی بخشی از گاز مورد نیاز برای تولید برق در تابستان و زمستان، با حامل انرژی دیگری به جز گاز و فرآورده، ضمن تأمین برق مورد نیاز، سطح ناترازی گاز کاهش می‌یابد.

در ادامه به این موضوع پرداخته می‌شود که ناترازی برق، تهدید یا فرصت است. زمانی که میزان برق مورد نیاز ۲۰ هزار مگاوات بیش از عرضه آن در ساعات پیک مصرف باشد، تقریباً ۲۰ درصد باید به ظرفیت نیروگاهی برق در کشور باید افزوده شود. شاید وجود این ناترازی بهترین فرصت برای تنوع‌گرایی متوازن سبد انرژی نیروگاهی در کشور باشد. در شرایط فعلی ۹۸ درصد برق تولیدی کشور از گاز و فرآورده نفتی است. در صورتی که منابع تجدیدپذیر مانند خورشیدی، بادی، آبی، زیست توده، هسته‌ای، پروژه‌های بازیافت حرارت و انرژی اتلافی، و یا حتی زغال سنگ می توانند ضمن تأمین برق مورد نیاز از سایر منابع و با هزینه‌هایی به مراتب کمتر، مشکل ناترازی گاز را نیز تا حدود زیادی کاهش دهند. با توجه به شکل ۳ با مصرف ۴۶۱/۷ میلیون بشکه معادل نفت خام از ظرفیت گاز تولیدی و ۱۰۸/۲ میلیون بشکه معادل نفت خام از ظرفیت فرآورده تولیدی در کشور و ۱۸/۸ از سایر منابع، ۲۰۹ میلیون بشکه معادل نفت خام برق در کشور تولید می‌شود.



شکل ۳. وضعیت فعلی سبد سوخت نیروگاه

با فرض بازده‌های کنونی، برای تولید همین مقدار برق، امکان توزیع سبد سوختی نیروگاه‌ها را بر اساس شکل ۴ بررسی نمود. در این شرایط همان برق قبلی تولید شده است، با این تفاوت که بیش از ۴۰ درصد در مصرف گاز و فرآورده صرفه‌جویی شده است.



شکل ۴. وضعیت پیشنهادی سبد سوخت نیروگاه

امروزه با افزایش هزینه سوخت‌های فسیلی و کاهش هزینه‌های نصب و راه‌اندازی نیروگاه‌های تجدیدپذیر، بکارگیری انرژی‌های نو و تجدیدپذیر نقش بسزایی در سبد انرژی جهان ایفا می‌کند. در

دسترس بودن محدود سوخت‌های فسیلی و مشکلات انتشار گازهای گلخانه‌ای، الزامی برای بهره‌مندی از انرژی‌های تجدیدپذیر است. وفق به قانون اساس‌نامه سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق مصوب سال ۱۳۹۴، وظیفه ارتقاء و توسعه کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر بر عهده سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا) نهاده شده است [۱۰]. از این‌رو بخش انرژی‌های تجدیدپذیر، برخلاف سایر ۱۱ زیربخش از ۱۲ زیربخش تعریف شده برای رفع ناترازی، دارای متولی خاص است. البته شایان ذکر است در برنامه ششم توسعه، وزارت نفت و شرکت‌های تابعه نیز باید در توسعه فناوری‌های تجدیدپذیر نقش ایفا نموده و قانون‌گذار تکالیفی بر عهده آن‌ها سپرده است.

همچنین توسعه هیدروژن به عنوان یکی از حامل‌های انرژی در کشورهای مختلف یکی از اولویت‌ها در تنوع‌گرایی سبد سوخت است. عمده دلایل جانشانی هیدروژن در سبد سوختی کشورها، ارزش حرارتی بالای آن (ارزش حرارتی هیدروژن سه برابر بنزین در هر واحد وزن) [۱۱]، پتانسیل تولید کربن کمتر، تبدیل مستقیم انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی (در پیل‌های سوختی) و تفاوت آن نسبت به انرژی فسیلی است، که حین احتراق هیدروژن، محصول خروجی فقط بخار آب خواهد بود. از این‌رو هیدروژن در طیف گسترده‌ای از نیازهای انرژی از تولید برق و گرما گرفته تا حمل و نقل کاربرد دارد. ولی مهم‌ترین مشکل هیدروژن این است که به طور طبیعی به شکل خاص خود در روی زمین وجود ندارد. تفاوت هیدروژن با گاز طبیعی در منابع تأمین و هزینه‌های تولید آن است. ارزش حرارتی هر کیلوگرم هیدروژن ۱۲۰-۱۴۲ مگاژول بوده و هزینه تولید هیدروژن بر مبنای منبع تولید آن متفاوت است [۱۲].

۳- نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین دلایل ناترازی برق، پایین بودن ظرفیت تولید برق در ساعات پیک مصرف و از دلایل اصلی ناترازی گاز، سهم ۷۰ درصدی آن در تولید برق و به تبع آن هدر رفت زیاد انرژی است. برای رفع ناترازی برق باید ظرفیت نیروگاهی توسعه داده شود که اگر سیاست‌گذاری با دید توسعه متوازن سبد سوختی نیروگاه‌ها صورت پذیرد، ناترازی برق به عنوان فرصتی برای بهبود سبد سوختی کشور و کاهش ناترازی گاز تلقی خواهد شد. ناترازی انرژی در ایران یک امر تک یا دو بعدی نیست که صرفاً با افزایش تولید، بهینه‌سازی و کاهش مصرف حامل‌های مختلف قابل حل باشد. ناترازی انرژی در کشور ابعاد مختلفی دارد که برای حل این معضل بایستی به صورت چند بعدی به آن نگاه کرد. در این پژوهش مدل توسعه داده شده برای رفع ناترازی، دارای چهار بخش اساسی حکمرانی انرژی، عرضه، تقاضا و تنوع‌گرایی بوده که به صورت وجه‌های یک منشور با هم مرتبط هستند. لازم به ذکر است قاعده این منشور که تجمیع‌کننده و منسجم‌کننده آن نیز به شمار می‌رود، در بخش اصلی ان یعنی حکمرانی انرژی است. ویژگی اصلی این مدل، یکپارچه‌نگری در همه حوزه‌ها و بخش‌های درگیر در زیست‌بوم انرژی کشور با تبیین وظایف افراد، نهادها و ذی‌نفعان مختلف در اجرایی کردن آن و جایگاه فناوری در بخش‌های مختلف است.

مراجع

[۱] ترازنامه انرژی سال ۱۴۰۰، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی، ۱۴۰۲.

[۲] Giray Gozgor, Sudharshan Reddy Paramati, 2022. Does energy diversification cause an economic slowdown? Evidence from a newly constructed energy diversification index. Energy Economics 109: 1-10.

[۳] Carlo Drago, Andrea Gatto, 2022. Policy, regulation effectiveness, and sustainability in the energy sector: A world-wide interval-based composite indicator. Energy Policy 167: 1-13.

[۴] محمد عظیم‌زاده آرانی، محمد نوروزی، جواد پرویزی، حسن جهان‌تاب، تبیین وضعیت فعلی حکمرانی انرژی ایران و ارائه راهکارهای سیاستی. پنجمین همایش سالانه اقتصاد مقاومتی، ۱۳۹۷.

[۵] Liang-huey Lo, 2011. Diversity, security, and adaptability in energy systems: a comparative analysis of four countries in Asia. World Renewable Energy Conference, Sweden, 2401-2408.

[۶] Laura Fiorini, Marco Aiello, 2019. Energy management for user's thermal and power needs: A survey. Energy Reports 5: 1048-1077.

[۷] گزارش تفریغ قانون بودجه سال ۱۴۰۲، مجلس شورای اسلامی، دیوان محاسبات کشور، ۱۴۰۳.

[۸] عبدالحسین خسروپناه دزفولی، میثم بهارلو، تبیین مقایسه‌ای حکمرانی مدرن با حکمرانی حکمی در سه ساحت مبانی، اصول و اهداف. مجله آیین حکمرانی، سال اول، شماره یکم، تابستان ۱۴۰۲.

[۹] ایمان اکبری، محمد عبدالحسین‌زاده و همکاران، ابزارهای نرم حکمرانی و نقش آنها در ارتقای نظام قانونگذاری. مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۴۰۳.

[۱۰] قانون اساس‌نامه سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا)، مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۵.

[۱۱] Ana-Maria Cormos, Szabolcs Szima, Szabolcs Fogarasi, Calin-Cristian Cormos, 2018. Economic Assessments of Hydrogen Production Processes Based on Natural Gas Reforming with Carbon Capture. Chemical Engineering Transactions, 1231-1236.

[۱۲] Abhimanyu Pal, Shubham Kakran, Ashish Kumar, Adel Ben Youssef, Upendra Pratap Singh, Arpit Sidhu, 2024. Powering squarely into the future: A strategic analysis of hydrogen energy in QUAD nations. International Journal of Hydrogen Energy, 16-41.

الزام تصمیم‌گیری مدیران صنعت نفت ایران به کمک هوش مصنوعی (AI)

دکتر محمد احمدزاده- موسس آکادمی احمدزاده
مدرس و مشاور تحلیل کسب و کار، مدیریت پروژه و مدیریت چابک

مقدمه
صنعت نفت، از زمان کشف آن تاکنون، یکی از حیاتی‌ترین ارکان اقتصاد جهانی بوده است. در این میان، ایران با در اختیار داشتن منابع عظیم نفت و گاز، همواره نقش تعیین‌کننده‌ای در بازار انرژی ایفا کرده است. با این حال، تغییرات سریع فناوری، تحولات ژئوپلیتیکی، فشارهای زیست‌محیطی و افزایش رقابت جهانی، الزام حرکت به سوی هوشمندسازی و استفاده از فناوری‌های نوین همچون هوش مصنوعی را دوچندان کرده است.
کشورهای پیشرو منطقه خلیج فارس، نظیر عربستان سعودی، امارات متحده عربی، قطر و عمان، با سرمایه‌گذاری‌های کلان در فناوری‌های نوین، موفق شده‌اند بهره‌وری را افزایش و هزینه‌ها را کاهش دهند.
در مقابل، صنعت نفت ایران همچنان عمدتاً به روش‌های سنتی مدیریت و تصمیم‌گیری متکی است که این مسئله تهدید جدی جایگاه ایران در بازار جهانی ایجاد کرده است.
اکنون زمان آن رسیده است که با قدرت، تصمیم‌گیری داده‌محور و هوشمندانه را به‌عنوان یک الزام راهبردی بپذیریم.
این مقاله با بررسی تجربیات موفق کشورهای منطقه و تحلیل وضعیت فعلی ایران، مدل پیاده‌سازی AI در صنعت نفت براساس استاندارد BABOK و براساس چشم اندازهای ۵ گانه تحلل کسب و کار، یعنی فناوری اطلاعات، چابکی، معماری، مدیریت فرانیدهای کسب و کار و هوشمندی کسب و کار را ارائه می‌دهد و نقش کلیدی آموزش و مشاوره در این مسیر را تبیین می‌نماید.

وضعیت رقبا در خلیج فارس:

کشورهای همسایه ایران به‌طور فعال از فناوری‌های پیشرفته برای رقابت در بازار جهانی نفت بهره می‌برند:

- **آرامکو عربستان:** با بهره‌گیری از تحلیل پیشرفته داده‌ها و هوش مصنوعی در اکتشاف و تولید، هزینه‌های خود را ۲۰٪ کاهش داده و بهره‌وری را ارتقاء داده است.
- **قطر انرژی:** با استفاده از سیستم‌های AI در مدیریت منابع انسانی و عملیات، بهره‌وری نیروی کار را ۱۵٪ افزایش داده است.
- **ادنوک امارات:** با ایجاد پلتفرم Panorama، تصمیمات بلادرنگ و داده‌محور را در مدیریت میادین نفتی نهادینه کرده است.
- **اوکیو عمان:** با تحلیل داده‌های لرزه‌ای به کمک یادگیری ماشین، سرعت اکتشاف میادین جدید را دو برابر کرده است.
- **کویت پترولیوم:** با پیش‌بینی مبتنی بر AI، هزینه‌های نگهداری تجهیزات را به نصف رسانده است.

این موفقیت‌ها نشان می‌دهد که هوش مصنوعی در حال تغییر قواعد بازی در صنعت نفت جهانی است.

چالش‌های صنعت نفت ایران:

صنعت نفت ایران، به عنوان یکی از استراتژیک‌ترین بخش‌های اقتصادی کشور، در سال‌های اخیر با چالش‌های چندلایه‌ای روبه‌رو شده است. این چالش‌ها نه تنها کارایی عملیاتی را کاهش داده‌اند، بلکه موجب عقب‌ماندگی از رقبا در منطقه و جهان شده‌اند. شناخت دقیق این موانع و طبقه‌بندی آنها، نخستین گام برای تدوین یک نقشه راه تحول دیجیتال و بهبود تصمیم‌گیری در این صنعت کلیدی است.

فرصت‌های تحول با هوش مصنوعی:

صنعت نفت ایران با ورود به عصر دیجیتال، فرصت‌های بی‌نظیری برای ارتقاء بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها و افزایش رقابت‌پذیری در سطح جهانی پیش رو دارد. هوش مصنوعی می‌تواند به عنوان موتور محرک

شکل ۱: وضعیت رقبای صنعت نفت ایران در خلیج فارس

این تحول عمل کند و سازمان‌های نفتی را به سوی تصمیم‌گیری‌های سریع‌تر، بهینه‌تر و هوشمندانه‌تر هدایت کند.

استاندارد BABOK و چشم‌اندازهای ۵گانه‌ی آن

BABOK (Business Analysis Body of Knowledge)، یعنی «پیکره دانش تحلیل کسب‌وکار، سند مرجع رسمی و بین‌المللی تحلیل کسب‌وکار است که توسط انجمن بین‌المللی تحلیل کسب‌وکار (IIBA) تدوین شده است.
این استاندارد چارچوبی سیستماتیک برای جمع‌آوری نیازمندی‌ها،

دسته‌بندی	شرح مشکل	توضیحات تکمیلی
فناوری و داده	نبود زیرساخت‌های ابری و پلتفرم‌های تحلیل پیشرفته	سیستم‌های فعلی از تحلیل Big Data پشتیبانی نمی‌کنند؛ دسترسی به اطلاعات بلادرنگ دشوار است.
فرآیند تصمیم‌گیری	تکیه بر تجربه‌های فردی به جای تحلیل داده‌های بزرگ	تصمیمات بیشتر بر شهود شخصی استوار است تا داده‌های معتبر و تحلیل‌های پیش‌بینی‌کننده.
برنامه‌ریزی عملیاتی	ضعف در پیش‌بینی تولید، هزینه و ریسک‌های عملیاتی	نبود ابزارهای تحلیلی برای پیش‌بینی باعث کاهش بهره‌وری و افزایش هزینه‌ها شده است.
بازار و تغییرات محیطی	تأخیر در واکنش به تغییرات بازار جهانی انرژی	تصمیم‌گیری کند و عدم انطباق سریع با تحولات بازار باعث از دست رفتن فرصت‌های بزرگ شده است.

جدول ۱:دسته بندی چالش های صنعت نفت ایران

دسته‌بندی	شرح فرصت	توضیحات تکمیلی
تحلیل پیش‌بینی‌کننده	شناسایی الگوهای پنهان در داده‌های اکتشافی	تحلیل داده‌های ژئوفیزیکی و لرزه‌ای برای کشف سریع‌تر میادین جدید و افزایش دقت اکتشاف.
بهینه‌سازی عملیات تولید	افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه تولید با یادگیری ماشین	بهینه‌سازی خودکار پارامترهای حفاری، تولید و نگهداری با الگوریتم‌های ML.
مدیریت نگهداری هوشمند	پیش‌بینی خرابی تجهیزات و کاهش هزینه‌های تعمیرات	استفاده از مدل‌های پیش‌بینی برای زمان‌بندی نگهداری بهینه و کاهش خرابی‌های اضطراری.
تصمیم‌گیری داده‌محور	بهبود واکنش به تغییرات بازار و ریسک‌های عملیاتی	شبیه‌سازی و سناریونویسی مبتنی بر داده برای انتخاب بهترین استراتژی‌ها در شرایط عدم قطعیت.

جدول ۲: فرصت‌های تحول با هوش مصنوعی:

تعریف راهکارها، مدیریت تغییرات و تضمین موفقیت پروژه‌های سازمانی فراهم می‌کند و بهترین روش‌های تحلیل کسب‌وکار برای بهبود تصمیم‌گیری و موفقیت پروژه های کلان است.بر اساس استاندارد BABOK، هر پروژه پیاده‌سازی باید گام‌به‌گام بر مبنای تحلیل دقیق وضعیت موجود و نیازمندی‌های واقعی کسب‌وکار پیش برود.

اهداف اصلی استاندارد BABOK

- کمک به تحلیلگران کسب‌وکار در درک نیازهای سازمانی.
- تعریف واضح نیازمندی‌های پروژه و کاربران.
- طراحی راهکارهایی برای بهبود مستمر کسب‌وکار.
- کاهش ریسک‌های پروژه از طریق تحلیل علمی و داده‌محور.

چشم‌اندازهای ۵گانه BABOK

در استاندارد BABOK، پنج چشم‌انداز (Perspectives) رسمی تحلیل کسب و کار وجود دارد و هر پروژه تحلیل کسب‌وکار براساس یکی از این ۵ چشم‌انداز یا ترکیبی از آنها هدایت می‌شود:

نقش چشم‌اندازها در پیاده‌سازی AI در صنعت نفت

استفاده از این پنج چشم‌انداز، تضمین می‌کند که پروژه‌های هوش مصنوعی در صنعت نفت ایران نه تنها در سطح فناوری موفق شوند، بلکه در کل سازمان نهادینه شوند:

- با فناوری اطلاعات، زیرساخت‌های ابری و پردازش داده‌های کلان مستقر می‌شود.

چشم‌انداز	توضیح	اهمیت در پروژه‌های صنعت نفت
فناوری اطلاعات (Information Technology)	تحلیل سیستم‌های اطلاعاتی و پروژه‌های توسعه نرم‌افزار	ضروری برای پیاده‌سازی پلتفرم‌های ابری، کلان داده و الگوریتم‌های AI در صنعت نفت
چابکی(Agile)	تحلیل در محیط‌های سریع، تطبیقی و انعطاف‌پذیر	اجرای پروژه‌های پایلوت AI و بهینه‌سازی تدریجی فرآیندهای دیجیتال
معماری کسب‌وکار (Business Architecture)	تحلیل ساختار، روابط و فرآیندهای سطح کلان سازمان	بازطراحی ساختار دیجیتال شرکت‌های نفتی برای همراستایی با استراتژی تحول دیجیتال
مدیریت فرآیندهای کسب‌وکار (Business Process Management - BPM)	تحلیل، بهبود و خودکارسازی فرآیندهای عملیاتی	بهینه‌سازی عملیات استخراج، حفاری، نگهداری و فروش نفت
هوشمندی کسب‌وکار (Business Intelligence - BI)	تحلیل داده‌ها برای استخراج بینش‌های راهبردی و عملیاتی	توسعه داشبوردهای تحلیلی برای تصمیم‌گیری داده‌محور مدیران صنعت نفت

جدول ۳:پنج چشم‌انداز تحلیل کسب و کار و کاربرد آن در صنعت نفت

- با چابکی، پروژه‌های پایلوت سریعاً اجرا و بهبود می‌یابند.
- با معماری کسب‌وکار، تحولات دیجیتال در ساختار شرکت‌های نفتی تعبیه می‌شود.
- با مدیریت فرآیندهای کسب‌وکار، فرآیندهای عملیاتی هوشمند و خودکار می‌شوند.
- با هوشمندی کسب‌وکار، تصمیم‌گیری بر مبنای تحلیل پیش‌بینی‌کننده و داده‌های بلادرنگ انجام می‌شود.

بنابراین، اجرای صحیح پروژه‌های هوش مصنوعی در صنعت نفت ایران باید با در نظر گرفتن این چشم‌اندازها برنامه‌ریزی شود، تا پروژه فقط یک پروژه فناوری صرف نباشد، بلکه تحولی جامع در کل سیستم ایجاد کند.

مدل پیشنهادی پیاده‌سازی هوش مصنوعی (AI) در صنعت نفت ایران در صنعت نفت، اجرای AI بدون تحلیل صحیح و آماده‌سازی سازمانی، به شکست یا بازگشت سرمایه منفی منجر می‌شود؛ به همین دلیل، پیاده‌سازی موفقیت‌آمیز هوش مصنوعی در صنعت نفت ایران نیازمند یک مدل ساختاریافته، تدریجی و واقع‌بینانه است. این مدل باید از تحلیل دقیق وضعیت موجود شروع شده و به‌طور مرحله‌ای توسعه یابد تا ریسک‌ها کاهش یافته و مزایای حاصل از فناوری‌های نوین به حداکثر برسد.

جدول زیر مراحل این پیاده‌سازی را با توضیحات تکمیلی ارائه می‌دهد:

مرحله	شرح اقدام	توضیحات تکمیلی
تحلیل وضعیت موجود	ارزیابی سطح بلوغ دیجیتال، داده‌های در دسترس و نیازهای تحلیل داده‌ای شرکت‌های نفتی	این گام پایه اول است. باید میزان آمادگی سازمان برای پذیرش فناوری‌های نوین ارزیابی شود، شامل زیرساخت فناوری، فرهنگ سازمانی، مهارت‌های موجود.
تدوین نقشه راه دیجیتال	تدوین یک برنامه‌ی مرحله‌ای برای توسعه زیرساخت‌ها، فرهنگ داده‌محور، و پروژه‌های پایلوتAI	نقشه راه باید اهداف کوتاه‌مدت (مثلاً Quick Winsمثل تحلیل عملکرد چاه‌ها) و اهداف بلندمدت (مثلاً استقرار سیستم تصمیم‌گیری خودکار) را شامل شود.
ایجاد زیرساخت داده و پردازش ابری	استقرار مراکز داده امن و اتصال به سرویس‌های ابری برای ذخیره‌سازی، پردازش و تحلیل داده‌های کلان	چون صنعت نفت با داده‌های عظیم (Big Data)سر و کار دارد، بدون زیرساخت ابری مقیاس‌پذیر، پیاده‌سازی AI غیرممکن یا غیربهینه خواهد بود.
آموزش و توسعه منابع انسانی	ارتقاء توانمندی‌های مدیران در حوزه تحلیل کسب و کار و همچنین مهندسان در زمینه Big Data، هوش مصنوعی، یادگیری ماشین و تحلیل پیش‌بینی‌کننده	هیچ پروژه‌ی تحول دیجیتالی بدون توسعه سرمایه انسانی موفق نمی‌شود. آموزش باید شامل مهارت‌های فنی و مهارت‌های تغییر فرهنگ باشد.
اجرای پروژه‌های پایلوت	انتخاب میادین آزمایشی برای اجرای محدود راهکارهای AI و ارزیابی عملکرد الگوریتم‌ها در محیط واقعی	انتخاب پروژه‌های کوچک ولی اثرگذار اهمیت بالایی دارد. نتایج باید اندازه‌گیری، تحلیل و بهبود داده شود.
گسترش تدریجی و بهبود مستمر	تعمیم پروژه‌های موفق به میادین دیگر و ایجاد چرخه‌های بهبود مستمر در سامانه‌های هوشمند	به‌جای پیاده‌سازی ناگهانی در کل صنعت، باید بر مبنای موفقیت‌های کوچک، پروژه‌ها را تدریجاً گسترش داد تا ریسک کاهش یابد و یادگیری سازمانی تقویت شود.

جدول ۴: گام‌های پیاده‌سازی AI در صنعت نفت ایران

نقش کلیدی آموزش و مشاوره:

دکتر محمد احمدزاده، موسس آکادمی احمدزاده با ۲۵ سال تجربه تخصصی در مدیریت پروژه‌های استراتژیک و تحول دیجیتال، و تخصص در استانداردهای جهانی PMBOK، BABOK، Agile، می‌تواند راهبری این تحول عظیم را برعهده بگیرد.

خدمات آکادمی احمدزاده به شرح زیر است:

- برگزاری دوره‌های تخصصی تحلیل کسب‌وکار (CBAP) با تمرکز بر AI در صنعت انرژی.
- آموزش مدیریت پروژه‌های تحول دیجیتال PMP و Agile
- مشاوره در طراحی و پیاده‌سازی سیستم‌های مدیریت داده و تصمیم‌گیری هوشمند.
- توانمندسازی مدیران و مهندسان صنعت نفت برای رقابت در عصر هوش مصنوعی.

نتیجه‌گیری و توصیه‌ها:

صنعت نفت ایران برای حفظ جایگاه خود در بازار جهانی نیازمند یک انقلاب دیجیتال است. الزام تصمیم گیری مدیران به کمک هوش مصنوعی، دیگر یک انتخاب نیست بلکه یک ضرورت است. با تکیه بر تخصص دکتر محمد احمدزاده و ظرفیت‌های آکادمی احمدزاده، می‌توان این مسیر تحول را با قدرت آغاز کرد و شکاف عقب‌ماندگی با رقبا را کاهش داد.

برای بهره‌مندی از آموزش‌های تخصصی و مشاوره‌های حرفه‌ای در زمینه پیاده‌سازی هوش مصنوعی در صنعت نفت، با آکادمی احمدزاده (www.ahmadzadeh.academy) تماس حاصل فرمایید.

بررسی نقش فناوری‌های کلیدی دیجیتال در صنعت نفت

AI, IOT, Blockchain, Big Data

شیواسادات قاسمی
مدیرعامل گروه مشاوران مدیریت فناوری

مقدمه

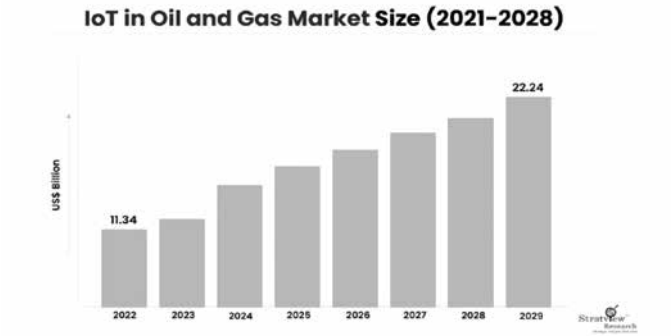
صنعت نفت و گاز در دهه آینده با تحولات دیجیتالی عمده‌ای مواجه خواهد شد که چهار فناوری کلیدی، شامل اینترنت اشیاء[1]، هوش مصنوعی[2]، بلاکچین[3] و کلان‌داده[4]، نقش محوری در این تغییرات خواهند داشت. این فناوری‌ها تأثیر مستقیمی بر بهره‌وری، کاهش هزینه‌ها، ایمنی و پایداری زیست‌محیطی صنعت نفت و گاز خواهند داشت. تحولات دیجیتالی در این صنعت نه‌تنها عملیات استخراج و پالایش را متحول می‌کنند، بلکه تأثیر قابل‌توجهی بر زنجیره تأمین، مدیریت دارایی‌ها و حتی استراتژی‌های سرمایه‌گذاری خواهند داشت. در سال‌های اخیر، بسیاری از شرکت‌های نفت و گاز به دنبال ادغام فناوری‌های دیجیتال در فرآیندهای خود بوده‌اند تا از مزایای آن بهره ببرند.

یکی از مزایای مهم فناوری‌های دیجیتال، کاهش هزینه‌های عملیاتی از طریق بهینه‌سازی فرآیندها و افزایش بهره‌وری است. علاوه بر صرفه‌جویی اقتصادی، این فناوری‌ها نقش مهمی در افزایش ایمنی محیط کار دارند، زیرا امکان نظارت مستمر بر تجهیزات و پیش‌بینی خطرات احتمالی را فراهم می‌کنند. همچنین، پایداری زیست‌محیطی یکی دیگر از مزایای کلیدی این تحولات است. استفاده از تحلیل داده‌ها و سیستم‌های هوشمند، به بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش آلاینده‌ها کمک کرده و موجب کاهش اثرات زیست‌محیطی صنعت نفت و گاز می‌شود.

با گسترش دیجیتالی‌سازی در این صنعت، شرکت‌های نفتی ملزم به پذیرش و اجرای این فناوری‌ها برای رقابت‌پذیری و بقا خواهند بود. شرکت‌هایی که سریع‌تر از دیگران فناوری‌های جدید را در عملیات خود پیاده‌سازی کنند، قادر خواهند بود با کاهش هزینه‌ها، افزایش ایمنی و بهبود عملکرد محیطی، سهم بیشتری از بازار را به دست آورند. از این رو، سرمایه‌گذاری در تحول دیجیتال به یکی از مهم‌ترین استراتژی‌های شرکت‌های بزرگ نفتی تبدیل شده است. در ادامه به بررسی مهمترین فناوریهای دیجیتال (اینترنت اشیاء، کلان‌داده، هوش مصنوعی و بلاکچین) و نقش آنها در صنعت نفت و گاز پرداخته خواهد شد.

اینترنت اشیا

فناوری اینترنت اشیا به عنوان یکی از فناوری‌های نوین در زمینه دیجیتال‌سازی و بهینه‌سازی صنعت نفت و گاز، توانسته است تحولات چشمگیری را در این حوزه به وجود آورد. اینترنت اشیا به معنی اتصال دستگاه‌ها و سیستم‌های مختلف به اینترنت و ارتباط بی‌سیم آن‌ها با یکدیگر است (Gokhale et al., ۲۰۱۸). در صنعت نفت و گاز، این فناوری می‌تواند به جمع‌آوری داده‌های دقیق، تحلیل آن‌ها و بهبود فرآیندهای تولید، حمل‌ونقل و بهره‌برداری کمک کند. در این راستا، بازار اینترنت اشیاء در صنعت نفت و گاز در سال ۲۰۲۲ به ارزش ۱۱٫۳۴ میلیارد دلار برآورد شده و پیش‌بینی می‌شود که در بازه زمانی ۲۰۲۳ تا ۲۰۲۹ با نرخ رشد سالانه ترکیبی معادل ۱۰٫۱ درصد رشد کند و به ۲۲٫۲۴ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۹ برسد. شکل ۱ نشان‌دهنده بازار رو به رشد اینترنت اشیاء در آینده است[5].



تصویر ۱. حجم بازار اینترنت اشیاء در صنعت نفت و گاز

اینترنت اشیاء در صنعت نفت و گاز برای نظارت بر تانک‌های حامل سوخت استفاده می‌شود. حسگرهای این فناوری داده‌ها را به داشبوردهای دیجیتال مبتنی بر ابر ارسال کرده و عملکرد تجهیزات و سطح موجودی تانک‌ها را به‌طور لحظه‌ای رصد می‌کنند. این حسگرها به‌طور خودکار کامیون‌ها را برای تخلیه تانک‌ها فرا می‌خوانند و عملکرد پمپ‌ها را کنترل کرده و به تیم‌های نگهداری هشدار می‌دهند. همچنین، این فناوری با شناسایی مسائل ایمنی و ارسال

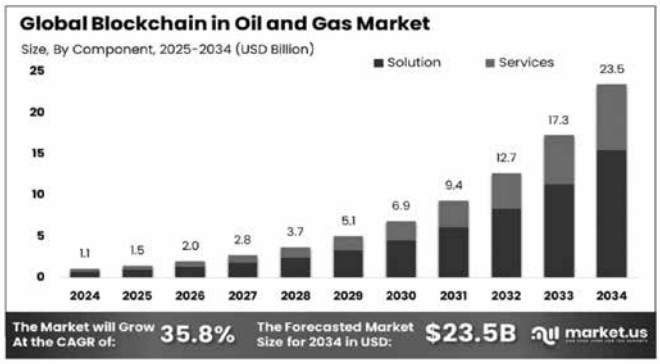
۱ (IoT) Internet of Things
۲ Artificial Intelligence (AI)
۳ Blockchain
۴ Big data
۵ https://www.stratviewresearch.com/3319/iot-in-oil-and-gas-market.html

اعلان‌های لحظه‌ای، از حوادث جلوگیری کرده و حمل و نقل موجودی را بهینه و هزینه‌ها را کاهش می‌دهد[۶]. یکی دیگر از کاربردهای مهم اینترنت اشیا در صنعت نفت و گاز، بهبود عملیات حفاری است. فناوری اینترنت اشیا به‌وسیله ارتباط بی‌سیم و استفاده از حسگرها، نظارت دقیق‌تری بر عملیات حفاری نفت و گاز فراهم می‌آورد. این فناوری به‌طور خودکار وضعیت ابزارهای حفاری، سرعت حفاری، فشار و سایر پارامترهای حیاتی را اندازه‌گیری و تحلیل می‌کند. اطلاعات به‌دست‌آمده از این حسگرها می‌تواند به‌طور آنی به اپراتورها گزارش شود تا عملیات حفاری در شرایط بهینه و ایمن‌تر انجام گیرد[۷].

فناوری اینترنت اشیا در صنعت نفت و گاز همچنین در مدیریت دارایی‌ها و تجهیزات کاربرد دارد. دستگاه‌ها و ماشین‌آلات مختلف در این صنعت می‌توانند به حسگرهایی مجهز شوند که وضعیت کارکرد آن‌ها را به‌طور دقیق ثبت و گزارش کنند. این داده‌ها می‌توانند به سیستم‌های مدیریت دارایی‌ها منتقل شوند تا هرگونه نقص یا خرابی پیش‌بینی و پیشگیری شود. به‌این‌ترتیب، با به‌کارگیری فناوری‌های تشخیص و پیش‌بینی خرابی، هزینه‌های نگهداری و تعمیرات به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد[۸]. یکی دیگر از مزایای استفاده از اینترنت اشیا در صنعت نفت و گاز، ارتقای سطح ایمنی در محیط‌های کاری است. حسگرهای اینترنت اشیا می‌توانند شرایط خطرناک مانند نشت گاز، حرارت بیش‌ازحد یا فشار غیرعادی را شناسایی کرده و بلافاصله به اپراتورها هشدار دهند. این سیستم‌ها می‌توانند در کاهش حوادث و حفظ جان کارکنان مؤثر باشند. سیستم‌های هشداردهنده و پیش‌بینی خطرات بر پایه اینترنت اشیا، می‌توانند به جلوگیری از وقوع حوادث جانی و مالی در این صنعت کمک کنند[۹]. در نهایت، فناوری اینترنت اشیا در بهینه‌سازی مصرف انرژی در صنایع نفت و گاز نقش مهمی ایفا می‌کند. در این صنعت، مصرف انرژی یکی از بزرگ‌ترین هزینه‌ها است و بهینه‌سازی مصرف آن می‌تواند تأثیر بسزایی در کاهش هزینه‌ها داشته باشد. فناوری اینترنت اشیا می‌تواند با تجزیه‌وتحلیل داده‌ها و بهینه‌سازی مصرف منابع، به کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری کمک کند[۱۰].

فناوری بلاکچین

فناوری بلاکچین به‌عنوان یکی از نوآوری‌های مهم در عصر دیجیتال، با قابلیت ایجاد امنیت، شفافیت و کاهش هزینه‌ها، در صنعت نفت و گاز نیز جایگاه ویژه‌ای پیدا کرده است. بلاکچین یک سیستم ثبت و ذخیره‌سازی داده‌ها است که در آن اطلاعات به‌صورت غیرقابل تغییر و به صورت توزیع‌شده در میان شبکه‌ای از کامپیوترها ذخیره می‌شود. این فناوری با حذف نیاز به واسطه‌ها و سیستم‌های متمرکز، امکان ارتباط مستقیم و امن بین طرفین مختلف را فراهم می‌آورد (Suliman Eissa Mohammed & Jamal Salem Alharthi, ۲۰۲۲). در صنعت نفت و گاز، فناوری بلاکچین به طور فزاینده‌ای در حال تبدیل شدن به یک راه‌حل مؤثر برای بهبود عملکردها و کاهش هزینه‌ها است. پیش‌بینی می‌شود که بازار جهانی بلاکچین در صنعت نفت و گاز از ۱٫۱ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۴ به ۲۳٫۵ میلیارد دلار تا سال ۲۰۳۴ برسد، که نشان‌دهنده رشد قابل توجه با نرخ رشد سالانه ترکیبی معادل ۳۵٫۸۰ درصد از سال ۲۰۲۵ تا ۲۰۳۴ است. در سال ۲۰۲۴، آمریکای شمالی پیشتاز بازار بوده و با سهم غالب ۳۷٫۴درصد از بازار، درآمدی بالغ بر ۰٫۴ میلیارد دلار را به خود اختصاص داده است. این رشد سریع، پتانسیل تحول‌آفرین فناوری بلاکچین در صنعت نفت و گاز را به وضوح نشان می‌دهد[۱۱].



تصویر ۲. وضعیت بازار فناوری بلاکچین در حوزه نفت و گاز

بلاکچین در صنعت نفت و گاز می‌تواند فرآیندهای تأمین زنجیره و لجستیک را به‌طور قابل توجهی بهبود بخشد. این فناوری با ذخیره‌سازی داده‌ها به‌صورت غیرقابل تغییر، امکان پیگیری و تأیید صحت اطلاعات مربوط به کالاها، خدمات و پرداخت‌ها را فراهم می‌آورد. با استفاده از بلاکچین، تمامی مراحل تأمین زنجیره به‌صورت شفاف و قابل ردیابی ذخیره می‌شوند، که این موضوع به کاهش مشکلات مرتبط با تقلب، تغییرات غیرمجاز داده‌ها و افزایش شفافیت کمک می‌کند[۱۲].

فناوری بلاکچین در مدیریت قراردادها و توافقات نیز بسیار مفید است. قراردادهای هوشمند یکی از کاربردهای برجسته بلاکچین هستند که می‌توانند به‌طور خودکار و بدون نیاز به واسطه‌ها اجرایی شوند. این قراردادها به‌وسیله بلاکچین پیاده‌سازی می‌شوند و امکان خودکارسازی توافقات بین طرفین مختلف را فراهم می‌آورند. در صنعت نفت و گاز، این می‌تواند شامل تأمین تجهیزات، پرداخت‌های مالی، توافقات حمل‌ونقل و غیره باشد. استفاده از قراردادهای هوشمند باعث کاهش هزینه‌ها و زمان می‌شود و امکان ایجاد یک سیستم پرداخت سریع‌تر و شفاف‌تر را فراهم می‌آورد[۱۳].

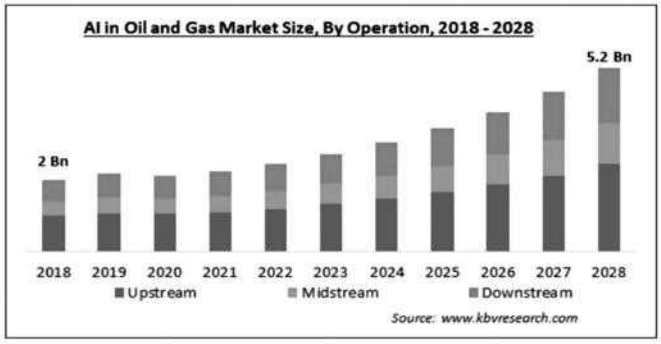
در زمینه پرداخت‌ها و تراکنش‌های مالی، بلاکچین می‌تواند فرآیندها را تسهیل و هزینه‌های اضافی را کاهش دهد. در صنعت نفت و گاز، تراکنش‌های مالی معمولاً از طریق بانک‌ها و واسطه‌های مالی انجام می‌شود که این امر با هزینه‌های اضافی و تأخیر در پردازش همراه است. بلاکچین امکان انجام تراکنش‌ها به‌طور مستقیم و بدون نیاز به واسطه را فراهم می‌آورد. علاوه بر کاهش هزینه‌ها، سرعت پردازش تراکنش‌ها نیز افزایش می‌یابد و این می‌تواند در کاهش زمان‌های تأخیر در معاملات داخلی و بین‌المللی مؤثر باشد[۱۴].

در مجموع، استفاده از فناوری بلاکچین در صنعت نفت و گاز می‌تواند موجب تحول اساسی در این صنعت شود. از بهبود تأمین زنجیره، مدیریت قراردادها، و امنیت داده‌ها گرفته تا تسهیل پرداخت‌ها و رعایت استانداردهای زیست‌محیطی، بلاکچین می‌تواند تمامی جنبه‌های فرآیندهای صنعت نفت و گاز را بهینه‌سازی کند و مزایای قابل توجهی از جمله کاهش هزینه‌ها، افزایش شفافیت و ارتقاء امنیت را به همراه داشته باشد.

۶ https://www2.deloitte.com/us/en/pages/consulting/articles/iot-digital-oil-and-gas.html
۷ https://wyldnetworks.com/blog/satellite-iot-for-transformingdata-capture-oil-and-gas
۸ https://www2.deloitte.com/us/en/pages/consulting/articles/iot-digital-oil-and-gas.html
۹ https://wyldnetworks.com/blog/satellite-iot-for-transformingdata-capture-oil-and-gas
۱۰ https://www.digi.com/blog/post/iot-in-oil-and-gas
۱۱ https://scoop.market.us/blockchain-in-oil-and-gas-market-news/
۱۲ https://www2.deloitte.com/us/en/pages/consulting/articles/blockchain-digital-oil-and-gas.html
۱۳ https://www2.deloitte.com/us/en/pages/consulting/articles/blockchain-digital-oil-and-gas.html
۱۴ https://www2.deloitte.com/us/en/pages/consulting/articles/blockchain-digital-oil-and-gas.html

هوش مصنوعی

فناوری هوش مصنوعی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ابزارهای تحول دیجیتال، تأثیر چشمگیری بر صنعت نفت و گاز داشته است. این فناوری با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، پردازش داده‌های کلان و تحلیل پیش‌بینی‌کننده، به بهینه‌سازی عملیات، کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری کمک می‌کند (Zhang & Lu, ۲۰۲۱). پیش‌بینی می‌شود بازار جهانی هوش مصنوعی در صنعت نفت و گاز نیز به ۵/۲ میلیارد دلار تا سال ۲۰۲۸ برسد و در طول دوره پیش‌بینی با نرخ رشد سالانه ترکیبی معادل ۱۳/۲٪ رشد کند. این رشد چشمگیر نشان‌دهنده اهمیت روزافزون هوش مصنوعی در بهینه‌سازی عملیات و ارتقای کارایی در صنعت نفت و گاز است. تصویر ۳ نشاندهنده بازار آینده هوش مصنوعی در صنعت نفت و گاز است[۱۵].



تصویر ۳. بازار آینده هوش مصنوعی در صنعت نفت و گاز

یکی از مهم‌ترین کاربردهای هوش مصنوعی در صنعت نفت و گاز، تحلیل داده‌های زمین‌شناسی و اکتشاف منابع جدید است. الگوریتم‌های یادگیری ماشین قادرند داده‌های لرزه‌نگاری و زمین‌شناسی را تجزیه‌وتحلیل کرده و با دقت بالا، مناطق دارای ذخایر نفت و گاز را شناسایی کنند. با استفاده از این فناوری، شرکت‌ها می‌توانند میزان موفقیت حفاری‌های اکتشافی را افزایش دهند و هزینه‌های مربوط به عملیات غیرموفق را کاهش دهند (Souissi et al., ۲۰۲۱).

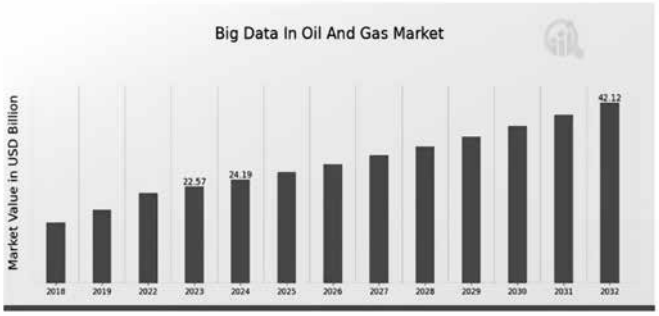
پایش و نگهداری تجهیزات صنعتی یکی دیگر از حوزه‌هایی است که هوش مصنوعی توانسته تأثیر بسزایی در آن داشته باشد. سیستم‌های مجهز به هوش مصنوعی با استفاده از حسگرهای هوشمند، وضعیت عملکرد تجهیزات را به‌طور مداوم پایش کرده و الگوهای خرابی را شناسایی می‌کنند. این فناوری از طریق پیش‌بینی خرابی‌های احتمالی، می‌تواند زمان خرابی تجهیزات و هزینه‌های تعمیر و نگهداری را به مقدار قابل قبولی کاهش دهد. همچنین، فناوری دوقلو دیجیتال[۱۶] که مبتنی بر مدل‌سازی هوش مصنوعی است، به شرکت‌ها امکان می‌دهد تا قبل از وقوع مشکلات، راهکارهای بهینه را شناسایی و اجرا کنند (Alasalvar et al., ۲۰۲۱).

ربات‌های هوشمند و وسایل خودران نیز به لطف هوش مصنوعی در صنعت نفت و گاز گسترش یافته‌اند. شرکت‌های نفتی از وسایل خودران زیردریایی برای بازرسی خطوط لوله و تأسیسات زیرآبی استفاده می‌کنند. همچنین، ربات‌های مجهز به هوش مصنوعی می‌توانند عملیات پرخطر مانند تعمیرات در محیط‌های سخت را انجام دهند. این فناوری موجب کاهش نیاز به نیروی انسانی در محیط‌های پرریسک شده و احتمال وقوع حوادث را کاهش داده است[۱۷].

در حوزه ایمنی کارکنان و نظارت بر محیط‌های کاری، هوش مصنوعی توانسته تحول بزرگی ایجاد کند. سیستم‌های نظارتی مبتنی بر پردازش تصویر، رفتارهای خطرناک را شناسایی کرده و هشدارهای لازم را به کارکنان و مدیران ارسال می‌کنند (Bai et al., ۲۰۲۱). همچنین، استفاده از پهپادهای هوشمند برای بازرسی تأسیسات نفتی، ریسک حضور نیروی انسانی در محیط‌های پرخطر را به میزان قابل‌توجهی کاهش داده است[۱۸]. امنیت سایبری نیز یکی از چالش‌های مهم در صنعت نفت و گاز است که هوش مصنوعی در آن نقش کلیدی دارد. سیستم‌های هوشمند با استفاده از یادگیری ماشین، الگوهای حملات سایبری را شناسایی کرده و از نفوذهای احتمالی جلوگیری می‌کنند (Wintersohle et al., ۲۰۲۳). با توجه به پیشرفت‌های روزافزون در این حوزه، انتظار می‌رود که در آینده‌ای نزدیک، کاربردهای هوش مصنوعی در صنعت نفت و گاز گسترش بیشتری پیدا کرده و منجر به افزایش کارایی و کاهش هزینه‌ها شود.

کلان داده

کلان‌داده به یکی از فناوری‌های مهم در صنعت نفت و گاز تبدیل شده است. با استفاده از پردازش داده‌های کلان و تحلیل پیشرفته، شرکت‌های نفتی می‌توانند بهره‌وری را افزایش داده، هزینه‌ها را کاهش داده و ریسک‌های عملیاتی را مدیریت کنند. طبق تحلیل MRFR، حجم بازار کلان‌داده در صنعت نفت و گاز در سال ۲۰۲۴ به ۲۵/۹۲ میلیارد دلار برآورد شده است. پیش‌بینی می‌شود این بازار از ۲۷/۷۸ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۵ به ۵۱/۸۶ میلیارد دلار تا سال ۲۰۳۴ برسد، که نشان‌دهنده نرخ رشد سالانه ترکیبی حدود ۷/۱۸ درصد در طول دوره پیش‌بینی (۲۰۲۵ تا ۲۰۳۴) است[۱۹].



تصویر ۴. وضعیت بازار کلان‌داده در حوزه نفت و گاز

کلان داده‌ها در صنعت نفت و گاز کاربردهای مختلفی دارند که می‌توانند فرآیندها را به‌طور چشمگیری بهبود بخشند. در بخش اکتشاف، تحلیل داده‌های لرزه‌ای با استفاده از ابزارهای پیشرفته یادگیری ماشینی، به شبیه‌سازی رفتار زمین‌شناسی و شناسایی ذخایر نفتی کمک می‌کند، که این امر تصمیم‌گیری‌ها را دقیق‌تر و کارآمدتر می‌سازد. برای حفاری، داده‌های حسگرهای مختلف به‌طور مداوم وضعیت تجهیزات را بررسی کرده و مشکلات بالقوه را پیش از وقوع شناسایی می‌کنند. این امر باعث کاهش زمان‌های توقف و افزایش کارایی در عملیات حفاری می‌شود. در حوزه مهندسی مخازن، استفاده از داده‌های حسگرهای توزیع‌شده به‌طور مداوم اطلاعاتی درباره رفتار مخازن به مهندسان ارائه می‌دهد که می‌تواند به طراحی استراتژی‌های

۱۵ https://www.kbvresearch.com/ai-in-oil-and-gas-market/

۱۶ Digital Twin

۱۷ https://www.industry.gov.au/sites/default/files/2024-12/atse-report-off-shore-oil-and-gas-decommissioning-technologies-and-careers-for-australias-emerging-industry.pdf

۱۸ https://www.shell.com/what-we-do/digitalisation/robotics/_jcr_content/root/main/section/simple_1634998224/call_to_action_copy/links/item0.stream/1650125916944/55dadbe430ca1522806ed99116abb5a199964d6c/digest-up-in-the-air-getting-value-from-unmanned-aerial-systems-adediran-updated.pdf

۱۹ https://www.marketresearchfuture.com/reports/big-data-oil-gas-market-29484

بهینه برای استخراج نفت و گاز منجر شود. به طور مشابه، در تولید، تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به چاه‌ها و عملکرد پمپ‌ها باعث بهبود تخصیص منابع و افزایش بهره‌وری تولید می‌شود. از طرفی در حوزه ایمنی، تجزیه و تحلیل داده‌ها کمک می‌کند تا روندهای پنهانی که می‌توانند به حوادث منجر شوند شناسایی شوند و از وقوع آنها جلوگیری گردد. در نهایت، در حمل و نقل، کلان داده‌ها با تجزیه و تحلیل عملکرد حمل و نقل نفت و گاز، امکان بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش آلودگی را فراهم می‌کنند. استفاده از کلان داده‌ها در این بخش‌ها به‌طور کلی به بهبود فرآیندها، کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری کمک می‌کند[۲۰].

چشم‌انداز آینده فناوری‌های نفت و گاز

تحولات آینده صنعت نفت و گاز به شدت تحت تأثیر هوش مصنوعی و دیجیتال‌سازی قرار خواهد گرفت. فناوری‌هایی مانند داده‌کاوی، یادگیری ماشین و دوقلوهای دیجیتال به ابزارهای اصلی برای بهینه‌سازی فرآیندهای عملیاتی تبدیل خواهند شد. این فناوری‌ها امکان پیش‌بینی دقیق‌تر، کاهش خرابی‌های ناگهانی و افزایش کارایی تجهیزات را فراهم کرده و شرکت‌ها را قادر می‌سازند تا تصمیم‌گیری‌های سریع‌تر و مؤثرتری اتخاذ کنند. علاوه بر این، سیستم‌های مدیریت داده و پردازش ابری نقش مهمی در نظارت و تحلیل عملکرد تأسیسات نفت و گاز خواهند داشت.

رباتیک و خودکارسازی عملیات یکی دیگر از روندهای کلیدی این صنعت خواهد بود. پهپادهای صنعتی، ربات‌های بازرسی و سیستم‌های خودکار حفاری جایگزین روش‌های سنتی خواهند شد و امکان کاهش هزینه‌های عملیاتی، افزایش ایمنی و بهبود دقت در انجام عملیات‌های پیچیده را فراهم خواهند کرد. همچنین، حفاری‌های هوشمند و شبیه‌سازی‌های پیشرفته با افزایش دقت و بهره‌وری، استخراج از مخازن سخت را تسهیل کرده و وابستگی به روش‌های حفاری سنتی را کاهش خواهند داد.

در کنار این تحولات، همگرایی فناوری‌های دیجیتال و عملیاتی باعث افزایش کارایی و کنترل دقیق‌تر عملیات خواهد شد. یکپارچه‌سازی داده‌های میدانی با اینترنت اشیا و پردازش بلادرنگ در پلتفرم‌های ابری، نظارت و مدیریت فرآیندهای حفاری و تولید را متحول خواهد کرد. علاوه بر این، نرم‌افزارهای پیشرفته تحلیلی و مدل‌سازی‌های دقیق به شرکت‌ها کمک می‌کنند تا تصمیم‌گیری‌های عملیاتی خود را بهینه‌سازی کرده و بهره‌وری تجهیزات و فرآیندهای استخراج را به حداکثر برسانند.

معرفی گروه مشاوران مدیریت فناوری

گروه مشاوران مدیریت فناوری (به نشانی وبسایت www.motcg.com) توسط جمعی از اساتید و دانش آموختگان دکتری تخصصی مدیریت تکنولوژی از اواخر سال۱۳۹۶ بطور رسمی فعالیت خود را در حوزه خدمات مشاوره تخصصی و برگزاری دوره‌های آموزشی مدیریت، به ویژه مدیریت تکنولوژی، مدیریت انتقال تکنولوژی، مدیریت نوآوری و مدیریت تحقیق و توسعه آغاز نمود. از جمله اهداف اصلی گروه مشاوران مدیریت فناوری، اصلاح و بهبود فضای مدیریت تکنولوژی کشور در سطح بنگاه و صنعت، مشاوره به شرکت‌های دانش‌بنیان جهت تجاری‌سازی ایده‌های نوآورانه، ارزش‌گذاری تکنولوژی، تدوین دانش فنی و نیز تولید محتوای علمی و کاربردی مناسب در حوزه‌های ذکر شده می‌باشد. از ویژگی متمایزکننده اعضاء این گروه، سوابق اجرایی مفید آنها در صنایع مختلف می‌باشد. ماموریت ما کمک به تعالی کسب و کار بنگاه‌های خصوصی، دولتی، شرکت‌های دانش‌بنیان و استارت‌آپ‌ها با ارائه خدمات مشاوره و آموزش در حوزه‌های مختلف دانش مدیریت - به ویژه مدیریت تکنولوژی، مدیریت نوآوری و مدیریت تحقیق و توسعه - مطابق با دانش روز دنیا می‌باشد.

منابع

Alasalvar, C., Chang, S. K., Bolling, B., Oh, W. Y., & Shahidi, F. (2021). Specialty seeds: Nutrients, bioactives, bioavailability, and health benefits: A comprehensive review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 20(3), 2382-2427.

Wintersohle, C., Kracke, I., Ignatzy, L. M., Etzbach, L., & Schweiggert-Weisz, U. (2023). Physicochemical and chemical properties of mung bean protein isolate affected by the isolation procedure. Current Research in Food Science, 7, 100582.

Bai, J., Yue, P., Dong, Q., Wang, F., He, C., Li, Y., & Guo, J. (2021). Identification of geographical origins of Panax notoginseng based on HPLC multi-wavelength fusion profiling combined with average linear quantitative fingerprint method. Scientific Reports, 11(1), 5126.

Souissi, M., Ben Lagha, A., Chaieb, K., & Grenier, D. (2021). Effect of a berry polyphenolic fraction on biofilm formation, adherence properties and gene expression of Streptococcus mutans and its biocompatibility with oral epithelial cells. Antibiotics, 10(1), 46.

Zhang, C., & Lu, Y. (2021). Study on artificial intelligence: The state of the art and future prospects. Journal of Industrial Information Integration, 23, 100224.

Suliman Eissa Mohammed, H., & Jamal Salem Alharthi, W. (2022). Blockchain technology and the future of construction industry in the Arab region: applications, challenges, and future opportunities. Engineering Research Journal, 173, 411-441.

Gokhale, P., Bhat, O., & Bhat, S. (2018). Introduction to IOT. International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology, 5(1), 41-44.

فراخوان پذیرش
مقالات و پایان نامه های علمی ودانشجویی

نشریه چشم انداز نفت در نظر دارد با هدف ایجاد ارتباط موثر بین صنعت نفت و مراکز علمی و دانشگاهی کشور، ایده ها و نوآوری هایی که در قالب پایان نامه ها و مقالات علمی مطرح می شود را منتشر نماید
از کلیه دانشجویان، محققان و پژوهشگران مراکز علمی، پژوهشی و دانشگاهی کشور دعوت می شود مقالات و پایان نامه های علمی و طرح های پایان یافته تحقیقاتی خود را جهت چاپ در نشریه چشم انداز نفت ارسال نمایند

ارسال فایل از طریق پیام رسان ها به شماره
۰۹۰۱۳۴۲۱۳۷۷

۲۰ https://www.iies.org/admin/images/main-files/IIES-Technology+Bultain-۲/pdf.No۲٤

تجارت جدید جهانی، دیجیتال مارکتینگ

علی جوانمردی
مدیرعامل گروه فنی مهندسی ایتوک

بازاریابی دیجیتال یک جزء اساسی است که سازمان ها از طریق آن به مخاطبان هدف خود در دنیای مدرن و دیجیتالی امروزدسترسی می‌یابند. روند توسعه آن به موازات پیشرفت‌های تکنولوژیکی و از زمان شروع آن است. بیایید نگاهی به تاریخچه بازاریابی دیجیتال بیندازیم و اینکه چگونه می‌توان به شکل گیری تجارت جهانی امروز کمک کرد.

کسب و کار مدرن و تجارت جهانی بر ایده بازاریابی دیجیتال متکی است و برندها را از طریق پلتفرم های اینترنتی به مصرف‌کننده‌ها محصولات خود مرتبط می کند. اینترنت همراه با پلتفرم‌های رسانه‌های اجتماعی که در همه مکان‌ها قابل دسترسی است و موتورهای جستجو ، به‌عنوان اجزای اصلی بازاریابی دیجیتال عمل می‌کنند که جایگزین روش‌های سنتی تبلیغات رادیویی و تلویزیونی و چاپی شده است.

میلیاردها کاربر روزانه به کسب و کارها اجازه می دهند تا از استراتژی های بازاریابی دیجیتال با ارائه پلتفرم دیجیتال استفاده کنند که باعث تعامل مشتری و افزایش آگاهی از برند همراه با رُشد فروش می شود. بازاریابی دیجیتال به عنوان منظره ای که هم نوآوری‌های تکنولوژیکی جدید و هم الگوهای رفتاری مصرف کننده را بررسی می کند و جلوه گر می شود، همچنان به تغییر خود ادامه می دهد و بازاریابی دیجیتال امروزی در حال تکامل در طول زمان است.

دیجیتال مارکتینگ انقلابی در نحوه ارائه محصول و خدمات کسب و کارها ایجاد کرده است. که برخی از مزایای کلیدی عبارتند از:

- **مقرون به صرفه بودن:** برخلاف تبلیغات سنتی، بازاریابی دیجیتال به کسب و کارها اجازه می دهد تا با کسری از هزینه به مخاطبان زیادی دست یابند.
- **دسترسی جهانی:** برندها می توانند محصولات خود را در سرتاسر جهان بدون محدودیت جغرافیایی عرضه کنند.
- **بازاریابی هدفمند:** با تجزیه و تحلیل های پیشرفته، کسب و کارها می توانند بازار خاصی را هدف قرار دهند و اطمینان حاصل کنند که پیام آنها به مخاطبان می رسد.
- **تعامل:** رسانه های اجتماعی و بازاریابی ایمیلی تعامل مستقیم با مشتریان را امکان پذیر می کنند.
- **تصمیمات مبتنی بر داده:** کسب و کارها می توانند رفتار مشتری را تجزیه و تحلیل کرده و استراتژی های خود را برای نتایج بهتر، بهبود بخشند.

عناصر اصلی بازاریابی دیجیتال اغلب در بخش‌های بازاریابی دیجیتال زیر خلاصه می‌شوند:

- دستگاه‌های دیجیتال، گوشی‌های هوشمند، تبلت‌ها، رایانه‌های رومیزی و سایر دستگاه‌هایی که مصرف‌کنندگان برای دسترسی به محتوای آنلاین از آن‌ها استفاده می‌کنند.
- پلتفرم های دیجیتال، رسانه های اجتماعی، وب سایت ها، موتورهای جستجو و پلتفرم‌های تجارت الکترونیک.
- رسانه های دیجیتال، کانال های ارتباطی مختلف مانند تبلیغات رسانه های اجتماعی، کمپین های ایمیلی و بازاریابی محتوا.
- داده های دیجیتال، اطلاعات جمع آوری شده از مصرف کنندگان برای تقویت استراتژی های بازاریابی.
- فناوری دیجیتال، ابزارهایی مانند هوش مصنوعی، اتوماسیون و تجزیه و تحلیل که تلاش های بازاریابی را بهینه می کند.

همه این مولفه ها به کسب و کارها کمک می کند تا استراتژی های بازاریابی دیجیتال جامعی را بکار گیرند.

تاریخچه بازاریابی دیجیتال به دهه ۱۹۹۰ باز می گردد، زمانی که اینترنت شروع به تغییر شکل چشم انداز کسب و کار کرد. ظهور موتورهای جستجو، بازاریابی ایمیلی و پلتفرم‌های رسانه‌های اجتماعی نقش مهمی در تبدیل بازاریابی از شکل قبلی و سنتی خود به شکل کنونی و بازاریابی دیجیتالی، ایفا کردند.

گسترش و همه گیری اینترنت به فرصت های جدیدی منجر شد. معرفی موتورهای جستجو مانند یاهو! و گوگل به کسب و کارها اجازه داد تا وب سایت های خود را برای دید بهتر بهینه کنند. در دهه ۲۰۰۰، پلتفرم‌های رسانه‌های اجتماعی مانند فیس‌بوک و لینکدین، نحوه ارتباط برندها با مخاطبان خود را متحول کردند.

تاریخچه دیجیتال مارکتینگ شاهد نوآوری های مستمر بوده است، از ظهور سئو و بازاریابی محتوا تا تسلط رسانه های اجتماعی و اینفلوئنسر مارکتینگ ها تا کنون روندهای مختلفی بر بازارها و نحوه ارائه محصول به مخاطبان گذشته است. امروزه، کسب‌وکارها به استراتژی‌های دیجیتال برای رقابت در بازاری دائماً در حال تغییر بسیار متکی هستند.

با پیشرفت تکنولوژی، بازاریابی دیجیتال به تکامل خود ادامه خواهد داد. هوش مصنوعی، کمپین های بازاریابی خودکار و تجزیه و تحلیل پیش بینی کننده از این جمله اند. با جنب و جوشی که این نوآوری‌ها در جهان امروز ایجاد می کنند، کسب و کارها باید از آخرین روندها مطلع باشند تا در چشم انداز دیجیتال رقابتی بتوانند همچنان زنده باقی بمانند.

تاریخچه دیجیتال مارکتینگ داستانی تمام نشدنی از تغییر و انطباق مداوم است. از روزهای اولیه بازاریابی ایمیلی تا استراتژی‌های پیشرفته ای که امروزه شاهد آن هستیم، بازاریابی دیجیتال با تکنولوژی و نیازهای مشتری رشد کرده است و به حیات خود ادامه داده است و هر روز پربارتر از قبل پیش رفته است.

با نگاهی به آینده، واضح است که بازاریابی دیجیتال به تکامل خود ادامه خواهد داد. با پذیرش ابزارهای جدید و هماهنگ ماندن با خواسته های مشتریان، کسب و کارها می‌توانند در این زمینه پیشتاز باشند. سفر تا کنون یادآور این است که بازاریابی دیجیتال تا کجا پیش رفته است و هنوز چقدر پتانسیل دارد. بنابراین برای بهبود کسب و کارتان بایستی همیشه در حال تغییر و انعطاف پذیر و چابک بمانید.

بکارگیری هوش مصنوعی در جهت هوشمندسازی مدیریت منابع انسانی

محمد حسین صادقی راد
مدیر استارت آپ زاینو

حمید رضا آقائیان
مدیر عامل ویرا راستین

چکیده

هوش مصنوعی (AI) با افزایش کارایی و نوآوری، صنایع مختلف را متحول نموده است. امروزه بکار گیری هوش مصنوعی جهت هوشمند سازی مدیریت منابع انسانی به یکی از موضوعات داغ تبدیل شده است، مایکروسافت گزارش داده است که ۷۰٪ از کارکنان با استفاده از هوش مصنوعی برای انجام وظایف اداری راحت هستند. با پیاده‌سازی ابزارها و نرم‌افزارهای هوش مصنوعی مولد در عملیات منابع انسانی، بار اداری تیم منابع انسانی کاهش یافته و به آن‌ها این امکان را می دهد که زمان بیشتری را صرف کارهایی کنند که واقعاً اهمیت دارند. در حوزه منابع انسانی، هوش مصنوعی وظایفی مانند جذب استعدادها، ارزیابی عملکرد و آموزش کارکنان را بهینه می‌کند.

۱- هوش مصنوعی

اصطلاح هوش مصنوعی در سال ۱۹۵۶ مطرح شد. امروزه این فناوری به دلیل افزایش مقدار داده‌ها، وجود الگوریتم‌های پیشرفته، ارتقاء سطح توان محاسباتی، بسیار پرطرفدار و کاربردی شده است. هوش مصنوعی در حال نزدیک تر کردن انسان‌ها و ماشین ها به یکدیگر است و این یک اتفاق هیجان انگیز به شمار می رود. آخرین پیش بینی مک کینزی در مورد تاثیر هوش مصنوعی بر اقتصاد جهانی این است که تا سال ۲۰۳۰ هوش مصنوعی باعث ایجاد ۱۳تریلیون دلار فعالیت اقتصادی در سراسر جهان می شود. یک نظرسنجی جدید که از طرف پرایس واترهاوس کوپر انجام شده نشان می دهد که ۷۲٪ از مدیران معتقدند هوش مصنوعی در آینده نزدیک مزایای قابل توجهی در کسب وکار و تجارت آن ها ایجاد خواهد کرد.

در نظرسنجی دیگری ازIBM، ۶۶درصد از مدیران عامل معتقدند که هوش مصنوعی می تواند ارزش چشم گیری برای منابع انسانی به وجود آورد و برخی از آن‌ها در حال بررسی این فرصت ها هستند. ابزارهای مبتنی بر هوش مصنوعی می توانند به متخصصان منابع انسانی کمک کنند تا عملکرد کارکنان شان را ردیابی کنند، زمینه‌های بهبود را شناسایی نمایند و بازخوردهای لازم را ارائه دهند. این روند می‌تواند به بهبود بهره وری و مشارکت کارکنان کمک کند و در نهایت عملکرد کلی شرکت را افزایش دهد.

۲- کاربردها و مزایای بکارگیری هوش مصنوعی در منابع انسانی

کاربردهای مختلف هوش مصنوعی در منابع انسانی به شرح زیر می باشد:

الف) استخدام و جذب نیرو

هوش مصنوعی در فرآیند ارزیابی به طور فزاینده‌ای کارگشا است؛ از ایجاد بینش نسبت به یک مصاحبه ویدیویی تا ارزیابی شخصیت مصاحبه شونده و بسیاری موارد دیگر. با انجام این کار، نه تنها صرفه‌جویی زیادی در زمان ایجاد می‌شود، بلکه اطمینان حاصل می شود که اشتباهی در جذب یا عدم جذب فردی، به دلیل خطای انسانی (مانند خستگی یا ....) اتفاق نمی افتد.

ب) فرآیند آنبوردینگ (جامعه پذیری)

در طول فرآیند آنبوردینگ، چت‌بات‌های مجهز به هوش مصنوعی می‌توانند به‌عنوان دستیاران مجازی عمل کنند و به کارکنان پشتیبانی لحظه‌ای ارائه دهند. این پشتیبانی می‌تواند تجربه آنبوردینگ را بهبود بخشد و به کارکنان جدید کمک کند تا سریع‌تر در محیط کار خود جا بیفتند.

پ) آموزش و توسعه، و مدیریت استعداد کارکنان

ترکیب هوش مصنوعی مولد با منابع انسانی می‌تواند تأثیر مثبتی بر رشد و توسعه کارکنان داشته باشد. ابزارهای کوچینگ هوش مصنوعی می‌توانند مزایای کوچینگ حضوری و فردی را با ارائه بازخورد لحظه‌ای، پاسخ به سوالات و ارائه بینش به کارکنان تقلید کنند. فناوری‌های هوش مصنوعی مولد همچنین در به‌روزرسانی و تطبیق مواد آموزشی با الزامات صنعت مفید هستند. ابزارهای زیر در این مسیر قابل استفاده است:

• Workday Skills Cloud: تحلیل مهارت ها و مسیرهای شغلی

• Eightfold AI: پلتفرم تحلیل استعدادها

• Docebo AI: سیستم مدیریت یادگیری با هوش مصنوعی

• Skillsoft AI: ارائه محتوای یادگیری هوشمند

ت) تعلق کارکنان (دلبستگی سازمانی)

متخصصان منابع انسانی می توانند از هوش مصنوعی برای تقویت تحرک داخلی و حفظ کارکنان نیز استفاده کنند. از طریق نظرسنجی های بازخورد شخصی و سیستم‌های شناسایی کارکنان، بخش های منابع انسانی، می توانند مشارکت کارکنان و رضایت شغلی را با دقت بیشتری نسبت به قبل ارزیابی کنند. ابزارهای زیر در این مسیر قابل استفاده است:

• Microsoft Viva Insights: تحلیل تعاملات و بهره وری کارکنان

• Slack AI: بهبود ارتباطات تیمی

• AI ۳۶۰ Wellness: تحلیل سلامت و رفاه کارکنان

• Kona AI: پیشگیری از فرسودگی شغلی با تحلیل رفتار کارکنان

ث) تولید سیاست‌ها و مستندات

هوش مصنوعی می‌تواند به تسریع در پیش‌نویس مستندات، ارائه پایه‌ای برای قراردادها و توافق‌نامه‌ها و تسریع در تحقیق و یا تدوین مستندات بر اساس سیاست‌های شرکت کمک کند.

ج) تجمیع و تحلیل داده‌های منابع انسانی و اخذ تصمیمات آگاهانه

هوش مصنوعی مولد می‌تواند به تحلیل مجموعه‌های بزرگ داده و کشف الگوهای کلیدی کمک کند.

چ) مدیریت تنوع و شمول کارکنان و ارتباطات داخلی

هوش مصنوعی می تواند به مدیریت منابع انسانی در مدیریت تنوع و شمول کارکنان با خودکار کردن فرآیند بررسی عملکرد کمک کند. این امر شامل استفاده از الگوریتم های یادگیری ماشین برای شناسایی سوگیری و تبعیض در ارزیابی عملکرد، ارائه آموزش به کارکنان در مورد تنوع و شمول، و رسیدگی به تبعیض و تعصب است.

ح) تسریع در انجام وظایف و خودکارسازی فعالیت های تکراری

هوش مصنوعی در مدیریت منابع انسانی، برای خودکارسازی فعالیت های تکراری در نظر گرفته شده که می‌تواند زمان زیادی را از متخصصان منابع انسانی بگیرد. درنتیجه استفاده از هوش مصنوعی در این بخش، تمرکز روی فعالیت های استراتژیک بیشتر می شود.

خ) اتوماسیون وظایف اداری

خودکارسازی وظایف اداری کم ارزش به متخصصان منابع انسانی زمان بیشتری برای مشارکت در برنامه ریزی استراتژیک

در سطح سازمانی می دهد. هوش مصنوعی می‌تواند با خودکارسازی، بسیاری از کارها را ساده‌تر کند.

د) کاهش سوگیری انسانی

انسان ها ذاتا دارای سوگیری هستند، حتی زمانی هم که تلاش می کنند این ویژگی را در تصمیمات خود وارد نکنند، باز هم ممکن

است این اتفاق برایشان بی افتد. هوش مصنوعی به مدیران این امکان را می دهد تا فراتر از احساس و غریزه خود عمل کنند و به ارزیابی های مبتنی بر داده اعتماد نمایند.

ذ) انسانی تر شدن منابع انسانی

خودکارسازی وظایف از طریق فناوری هوش مصنوعی این امکان را فراهم می کند تا متخصصان منابع انسانی وقت بیشتری داشته باشند تا بر جنبه های دیگری از توانایی های منحصربه فرد انسان مانند تفکر انتقادی، خلاقیت و همدلی تمرکز نمایند.

ر) شناسایی مسیرهای شغلی

هوش مصنوعی به شناسایی مسیرهای شغلی احتمالی بر اساس سابقه آموزشی و نیازها کمک می‌کند. هوش مصنوعی در برنامه‌های آموزشی می‌تواند تجربه یادگیری را با نیازهای کارکنان تطبیق دهد.

ز) حذف پیش داوری‌ها

هوش مصنوعی در منابع انسانی ، به تصمیم‌گیری‌های مطمئن مبتنی بر داده در فرآیندهای حیاتی مانند استخدام، مدیریت عملکرد و همچنین برنامه‌ریزی و رهبری کمک می‌کند. استفاده از هوش مصنوعی در فرآیند انتخاب منابع انسانی می‌تواند انتخاب بی‌طرفانه کاندیدهای استخدامی را تضمین کند.

ژ) افزایش رضایت کارکنان

با هوش مصنوعی می‌توان تجربه کارکنان خود را شخصی‌سازی کرد. بسیاری از سوالات کارکنان با کمک یک چت بات مجهز به هوش مصنوعی، سریعتر حل می‌شود. کارمندان مجبور نیستند برای یک قرار ملاقات با واحد منابع انسانی منتظر بمانند یا برای سؤالات پیش پا افتاده منتظر پاسخ به ایمیل خود باشند.

س) بهره وری بیشتر و کاهش هزینه ها

شرکت‌هایی که از هوش مصنوعی در منابع انسانی استفاده می‌کنند، می‌توانند کارایی واحد منابع انسانی خود را افزایش دهند. علاوه بر این، نرم افزار منابع انسانی داده‌ها و محاسبات دقیقی را در اختیار قرار می‌دهد که در هزینه‌های اصلاحی، برای فرآیندهایی مانند حقوق و دستمزد و مدیریت عملکرد، صرفه‌جویی می‌کند.

ش) بهبود ارزیابی عملکرد (مدیریت عملکرد کارکنان و بهبود رفتار سازمانی):

مدیریت عملکرد کارکنان شامل فرآیندهایی مانند ارزیابی عملکرد، ارائه بازخورد، تعیین اهداف وبهبود بهره وری می باشد. AI می‌تواند این فرآیند را دقیق تر، سریع تر و بدون سوء گیری انجام دهد. ابزارهای زیر در این مسیر قابل استفاده است:

• Better-works: پلتفرم مدیریت عملکرد
• ۱۵Five: ارزیابی عملکرد و ارائه بازخوردهای هوشمند
• Humu AI: مربیگری هوشمند برای بهبود عملکرد
• Qualtrics Employee XM: تحلیل احساس کارکنان
• IBM Watson AI for Leadership: تحلیل و بهبود مهارت های مدیریتی
• Better Works AI: ارزیابی عملکرد و توسعه مدیران

ص) بهبود درفرایندهای ورود فرد جدید به سازمان یا جدا شدن فرد از سازمان

زمانی که یک کارمند جدید، به شرکت می‌پیوندد، هوش مصنوعی او را به سمت فرم‌های لازم راهنمایی می‌کند، او را با سیاست‌های شرکت آشنا کرده و حتی جلسات آموزشی اولیه را برگزار می‌کند. به طور مشابه، هنگامی که یک کارمند شرکت را ترک می‌کند، هوش مصنوعی می‌تواند بررسی‌های خروج، استرداد اموال شرکت و سایر کارها را مدیریت کند.

ض) جذب مشارکت بالاتر کارکنان

واحد منابع انسانی اغلب برای سنجش احساسات کارکنان تلاش می‌کند. یک ابزار نظرسنجی مبتنی بر هوش مصنوعی می‌تواند این فرآیند را خودکار کند.

ط) کمک به برنامه ریزی واحد منابع انسانی

مدیران منابع انسانی همیشه به دنبال شناسایی شکاف‌ها و فرصت‌های انسانی در سازمان خواهند بود تا بتوانند برنامه استخدام خود را برای سال آینده بسازند. با تجزیه و تحلیل داده‌هایی مانند مهارت‌های نیروی کار فعلی، روندهای صنعت و برنامه‌های رشد شرکت، یک ابزار هوش مصنوعی می‌تواند پیش‌بینی کند که چه نقش‌هایی ممکن است در سال آینده نیاز یک سازمان باشد. ابزارهای زیر در این مسیر قابل استفاده است:

• Workday Skills Cloud
• LinkedIn Skills Insights
• IBM Watson Talent Frameworks

ظ) پیشنهاد مسیرهای رشد شغلی

پیشنهاد مسیرهای رشد شغلی با تحلیل مهارت ها و عملکرد کارکنان، تحلیل الگوی کاری و ارائه توصیه ها، بهینه سازی فضای کارو ارائه پیشنهادات برای بهبود تعادل کار و زندگی از جمله توانمندی های هوش مصنوعی در این حوزه می باشند. ابزارهای زیر در این مسیر قابل استفاده است:

• Workday Talent Optimization: ارائه مسیرهای شغلی بر اساس مهارت ها
• Microsoft Workplace Analytics: تحلیل بهره وری و زمان بندی جلسات
• Humanize AI: تحلیل تعاملات تیمی و بهبود فضای کاری

ع) جانشین پروری

هوش مصنوعی در موضوعات شناسایی استعداد های بالقوه برای جانشینی، مربیگری برای جانشینان بالقوه، بهینه سازی تصمیم‌گیری در مورد انتخاب جانشینان، کاهش ریسک های جانشینی نقش ایفا می نماید. ابزارهای زیر در این مسیر قابل استفاده است:

• Sap Success Factors: تحلیل داده های منابع انسانی برای جانشینی
• Murrison AI: شبیه سازی موقعیت های مدیریتی با واقعیت مجازی
• Cornerstone Talent Management:

تحلیل و مقایسه کارکنان برای برنامه ریزی جانشین پروری

• Oracle HCM Cloud AI: برنامه ریزی پویا برای جانشینان

• Success Factors Succession & Development: بررسی مستمر داده های جانشین پروری

غ) طراحی و بهینه سازی چارت سازمانی

هوش مصنوعی در موضوعات تحلیل کارایی سازمان AI می تواند داده های عملکرد کارکنان و تیم ها را بررسی کند تا مشخص شود که آیا ساختار فعلی نیاز به تغییر دارد یا خیر؟، (شناسایی گلوگاه‌های سازمانی با تحلیل تعاملات داخلی)، AI می تواند تشخیص دهد که کدام بخش ها بیش از حد شلوغ یا نا کارآمد هستند، و به تعدیل سلسله مراتب سازمانی فعلی کمک می نماید. ابزارهای زیر در این مسیر قابل استفاده است:

• Orgvue AI: تحلیل و بهینه سازی ساختار سازمانی

• Workday Adaptive Planning: مدل سازی و پیش بینی تغییرات چارت سازمانی

ف) تدوین شرح شغل

در این بخش هوش مصنوعی در ایجاد شرح شغل بر اساس داده‌های موجود، و به روز رسانی شرح شغل به صورت خودکار نقش ایفا می نماید. ابزارهای زیر در این مسیر قابل استفاده است:

• Job Description AI by LinkedIn: تولید خودکار شرح شغل بر اساس داده های بازار کار

• Jasper AI for Job Descriptions: نوشتن متن های جذاب و استاندارد برای آگهی های شغلی

ق) مدیریت منابع انسانی در مقیاس بزرگ

به سازمان‌ها امکان می‌دهد تا فرآیندهای HR را در مقیاس بزرگ مدیریت کنند.

۳- چالش های بکارگیری هوش مصنوعی در منابع انسانی

در حالی که هوش مصنوعی برای ساده کردن فرآیندها و سرعت بخشیدن به تصمیم گیری مفید است، نگرانی هایی را نیز ایجاد می‌کند. باید از پتانسیل و مشکلات آن آگاه بود و جایی برای خطاها و سوگیری‌های شناختی احتمالی باید در نظر گرفت:

الف) هوش مصنوعی جایگزینی برای مشارکت واقعی انسان نیست

طبق نظرسنجی اوراکل درمورد محل کار، ۳۱درصد از پاسخ‌دهندگان اعلام کرده‌اند که ترجیح می‌دهند با یک انسان درگیر شوند تا یک ماشین.

ب) محدودیت توانمندی هوش مصنوعی

اگرچه هوش مصنوعی در حال حاضر می‌تواند بر اساس کلماتی که افراد استفاده می‌کنند، جستجو کرده و پاسخی مناسب ارائه دهد، اما ممکن است همیشه به درستی زمینه سوال را درک نکند یا پاسخ جامعی ارائه ندهد.

پ) نگرانی های حفظ حریم خصوصی

در واقع، نگرانی‌های امنیتی و حفظ حریم خصوصی کارکنان شایع‌ترین دلیلی است که افراد را در استفاده از هوش مصنوعی در محل کار مردد می‌کند.

ت) خطاهای ماشینی

خطا در برنامه‌نویسی می‌تواند منجر به تفسیر نادرست داده‌ها یا در نظر گرفتن عوامل اشتباه هنگام مرتب‌سازی بین متقاضیان شود. باید مراقب بود که گزارش‌های مهم را به طور کامل به هوش مصنوعی نسپرد.

ث) سوگیری ضمنی در پارامترهای اولیه‌ای

استفاده از هوش مصنوعی برای مرتب‌سازی متقاضیان می‌تواند ناخواسته سوگیری ایجاد کند و متقاضیان واجد شرایط و متنوع را حذف کند. اگر پارامترهای اولیه‌ای که در برنامه تنظیم می شود شامل سوگیری ضمنی باشد، در نتایجی که به دست می‌آید انصاف و درستی کسب نمی‌شود.

ج) افزایش خطرات برای امنیت سایبری

چت‌بات‌ها می‌توانند وسیله‌ای عالی برای ساده‌سازی تراکنش‌های معمول منابع انسانی باشند. با این حال، آنها همچنین اهداف آسانی برای هکرها هستند. به اشتراک‌گذاری داده‌های شخصی یا شرکتی حساس از طریق این برنامه‌ها می‌تواند سازمان را در معرض حملات سایبری یا سرقت هویت قرار دهد.

چ) عملکرد این فناوری، مبتنی بر استفاده از داده است

اصلی‌ترین محدودیت هوش مصنوعی این است که شیوه‌ی اصلی عملکرد این فناوری، مبتنی بر استفاده از داده‌هاست. هیچ راه دیگری برای تفسیر دانش وجود ندارد. به این معنی که هرگونه اشتباه در داده‌ها ممکن است در نتایج تاثیرگذار باشد.

ح) محدودیت فعالیت

سیستم‌های امروزی هوش مصنوعی برای انجام یک مجموعه کارهای مشخص تنظیم و تعریف شده‌اند. سیستم تقلب‌یاب نمی‌تواند خودرو را به حرکت در آورد یا به افراد مشاوره حقوقی بدهد. این سیستم‌ها روی یک کار خاص متمرکز هستند و نمی‌توانند مانند انسان‌ها رفتار کنند. هر لایه‌ی اضافی از پیش‌بینی یا تحلیل، باید به طور جداگانه به سیستم افزوده شود.

خ) احتمال تبعیض

اگر الگوریتم‌های AI بر اساس داده‌های تاریخی تبعیض‌آمیز (مانند استخدام‌های گذشته که به نفع گروه خاصی بوده) آموزش ببینند، ممکن است این تعصب‌ها را بازتولید

کنند. برای مثال، در سال ۲۰۱۸، آمازون یک ابزار استخدامی AI را کنار گذاشت، زیرا به طور ناخواسته علیه زنان تبعیض قائل می‌شد.

د) هزینه اولیه بالا

پیاده‌سازی سیستم‌های AI نیازمند سرمایه‌گذاری قابل توجه در زیرساخت‌ها، نرم‌افزارها و آموزش کارکنان است. این هزینه‌ها برای شرکت‌های کوچک یا متوسط ممکن است غیرقابل تحمل باشد.

ذ) مقاومت کارکنان و مدیران

بسیاری از افراد در برابر جایگزینی فرآیندهای انسانی با فناوری مقاومت می‌کنند، چه به دلیل ترس از از دست دادن شغل و چه به دلیل عدم اعتماد به تصمیم‌گیری ماشینی.

۴- نمونه‌های واقعی

هوشمند سازی مدیریت منابع انسانی در شرکت های بسیاری در سراسر دنیا پیاده شده است از جمله در شرکت های معروف زیر:

الف) شرکت : RingCentral

RingCentral یک شرکت نرم‌افزاری در حوزه ارتباطات و همکاری ابری، متوجه شد که جستجوی استعدادهایشان به‌اندازه کافی چابک نیست تا اهداف استخدامی را برآورده کند. به همین دلیل، از راه‌حل جستجوی استعداد Findem استفاده کردند که به رویکرد هوش مصنوعی مولد متکی است تا بینش‌ها و روندهای دقیق در مورد استعدادها را با ترکیب داده‌های داخلی و خارجی ارائه دهد و فرایند تطبیق و ارتباط با متقاضیان را خودکار کند. RingCentral توانست با این راه‌حل علاقه به موقعیت‌های شغلی خود را ۴۰٪ افزایش دهد.

ب) شرکت : Manipal Health Enterprises

Manipal Health Enterprises به‌دنبال راه‌حلی بود که بتواند به پرستاران، پزشکان و سایر کارکنان پشتیبانی ۲۴ ساعته ارائه و به تمامی سوالات منابع انسانی پاسخ دهد. با استفاده از Leena، دستیار مجازی ایجاد شد که به‌طور خودکار به تمامی سوالات مربوط به حقوق و دستمزد، مالیات‌ها، مدیریت مرخصی، مزایا و غیره پاسخ می‌دهد. این راه‌حل باعث صرفه‌جویی در بیش از ۶۰,۰۰۰ ساعت زمان تیم منابع انسانی برای پاسخ‌دهی دستی به سوالات تکراری شد، زمان پاسخ‌دهی متوسط به کارکنان را به ۲۴ ساعت کاهش داد و نرخ ترک شغل سالانه استخدام‌های جدید را تا ۵٪ کاهش داد.

پ) شرکت: Heluna Health

Heluna Health که پیشتاز در حوزه بهداشت عمومی و نوآوری است، با مشکل ارتباط، همکاری و تعامل با نیروی کاری پراکنده در پروژه‌های مختلف مواجه بود. با پیاده‌سازی hrGPT از CloudApper، ابزاری برای ارتباطات شخصی‌سازی‌شده، Heluna Health توانست پیام‌ها و به‌روزرسانی‌های هدفمند و سفارشی‌شده را به گروه‌های خاصی از کارکنان ارائه دهد. hrGPT قادر است تعاملات انسانی را تقلید کرده و در مکالمات طبیعی با کارکنان شرکت کند، که این امر کیفیت ارتباط انسانی را بدون نیاز به ورودی واقعی انسان حفظ می‌کند.

ت) شرکت IBM:

کاربرد هوش مصنوعی در منابع انسانی IBM کارمندان این شرکت را به روش‌های مختلفی درگیر می‌کند. به عنوان مثال، یکی از ابزارهای هوش مصنوعی، به گفتگوهای صورت گرفته در رسانه‌های اجتماعی، نظرسنجی‌ها و سایر منابع داده نظارت می‌کند. IBM همچنین از یک ابزار مبتنی بر هوش مصنوعی به نام Watson Career Coach (WCC) در مدیریت منابع انسانی خود استفاده می‌کند. WCC با استفاده از ترکیب پردازش زبان طبیعی و اطلاعات تاریخی کارمندان، با آنها چت می‌کند.

ث) شرکت نفتی Shell

شرکت Shell یکی از غول‌های نفت و گاز جهانی است که به دنبال راه‌حلی برای یافتن کارکنانی از شرکت بود که مهارت‌ها و توانمندی‌های لازم برای انجام کارهای مشخص را داشته باشند. این راهکار در Shell آنقدر موفق بود که این شرکت درحال حاضر برنامه‌هایی برای توسعه آن به ۸۰۰۰ کارمند در شاخه بازاریابی B2B خود دارد.

ج) هتل های زنجیره ای Hilton

هتل‌های زنجیره‌ای هیلتون، اولین کسب‌وکار پذیرنده هوش مصنوعی برای فرایند استخدام است. از سال ۲۰۱۴، این شرکت شروع به استفاده از هوش مصنوعی برای ارزیابی منابع، غربالگری آنها و مصاحبه با داوطلبان شغلی برای مراکز تماس و سایر نقش‌های پشتیبانی کرد. از زمان شروع برنامه، سرعت استخدام هیلتون تا ۸۵ درصد افزایش پیدا کرد. همچنین زمان صرف شده بین مصاحبه اولیه تا جذب از ۴۲ روز به ۵ روز کاهش یافت

ث) شرکت Unilever

شرکت جهانی Unilever به دنبال یک راه جدید و پویا برای تعامل با نسل جدید بود که پاسخ آن در استفاده از هوش مصنوعی برای مصاحبه دیده شد. این شرکت نرم‌افزار استخدام هوش مصنوعی HireVue را به کار گرفت تا با استفاده از تجزیه و تحلیل ویدیویی حالات چهره، زبان بدن و کلمات کلیدی مشخص کند کدام کاندیدهای شغلی به احتمال زیاد در سازمانش موفق هستند. نتایج این پیاده‌سازی نشان داد اکثر کاندیدها مصاحبه‌ها را دوست داشتند و ۸۰ درصد از آنها در مورد مصاحبه‌ها بازخورد مثبت دادند. Unilever از آن زمان این برنامه را در ۵۳ کشور اجرا کرده است. نتایج این برنامه، بیش از ۵۰۰۰۰ ساعت صرفه‌جویی در غربالگری رزومه‌ها، کاهش ۷۵ درصدی زمان استخدام و ۱/۲ میلیون دلار صرفه‌جویی هزینه در سال است.

کلام آخر

هوش مصنوعی حوزه مدیریت منابع انسانی را متحول می کند. سازمان هایی که راه حل های مبتنی بر هوش مصنوعی را پذیرفته اند احتمالا مزیت رقابتی در بازار کار به دست خواهند آورد. برای سازمان ها مهم است که اطمینان حاصل کنند که راه حل های مبتنی بر هوش مصنوعی اخلاقی، شفاف و همسو با ارزش ها و اهداف سازمانی باشند. هوش مصنوعی تاثیر قابل توجهی بر آینده منابع انسانی دارد و البته پاسخی به همه مسائل منابع انسانی نیست.

منابع

۱- هوش مصنوعی در منابع انسانی چیست؟ مثال‌ها و نحوه استفاده، مسعود شکری، ۱۴۰۳/۶/۱۹

۲- کاربرد هوش مصنوعی در منابع انسانی، بهرام آقاجان پور، ۱۴۰۳/۳/۱۹

۳- نقش هوش مصنوعی در مدیریت منابع انسانی چیست؟، فاطمه جوادی‌فرد ، ۱۴۰۲/۱۲/۲۰

۴- نقش هوش مصنوعی در منابع انسانی ؛ کاربردها و نمونه های موفق، ۱۴۰۲/۶/۱۳

۵- هوش مصنوعی چیست و چه کاربردی دارد؟ (یک توضیح جامع)، ۱۳۹۶/۹/۲۸

۶- هوش مصنوعی مولد چیست؟، ۱۴۰۴/۱/۲۵

۷- نمونه‌هایی از کاربرد هوش مصنوعی در مدیریت منابع انسانی HR و استخدام، ۱۴۰۲/۳/۸

۸- کاربرد هوش مصنوعی در حوزه مختلف، رضا رمضانی، ۱۴۰۳/۳/۲۳

فعالیت‌های شناختی تعاملی

ابزاری نوین در توانمند سازی کارکنان و ارتقاء عملکرد سازمانی

ملیکا محمدپور
کارشناس ارشد سرمایه گذاری و تامین منابع مالی
مربی و داور رسمی فدراسیون در رشته بازی‌های فکری

مقدمه
در دنیای رقابتی و پویای امروز، سازمان‌ها برای حفظ بقا و پیشرفت ناچارند به دنبال راهکارهایی نوین جهت ارتقاء عملکرد کارکنان، بهبود تعاملات سازمانی و افزایش بهره‌وری کلی باشند. در این میان، توجه به ابعاد انسانی سازمان‌ها بیش از پیش اهمیت یافته است. منابع انسانی، به‌عنوان ارزشمندترین سرمایه هر سازمان، نقش اساسی در دستیابی به اهداف راهبردی ایفا می‌کنند. از این‌رو، توانمندسازی کارکنان و تقویت ظرفیت‌های فردی و تیمی آنان از مهم‌ترین اولویت‌های مدیریت منابع انسانی به شمار می‌رود.
یکی از رویکردهای نوظهور در این حوزه، بهره‌گیری از بازی‌های فکری در محیط‌های کاری است. بازی‌های فکری مجموعه‌ای از فعالیت‌های ذهنی، شناختی و گاهی گروهی هستند که با تحریک فرآیندهای مغزی همچون تفکر تحلیلی، حل مسئله، خلاقیت و تصمیم‌گیری، می‌توانند اثرات مثبتی بر عملکرد حرفه‌ای افراد داشته باشند. این بازی‌ها، فراتر از یک فعالیت تفننی، ابزاری آموزشی و انگیزشی به شمار می‌آیند که در صورت طراحی و اجرای هدفمند، قابلیت تأثیرگذاری عمیق بر رفتار سازمانی را دارند.
در سال‌های اخیر، مطالعات مختلفی در زمینه تأثیر بازی‌های فکری بر شاخص‌های کلیدی منابع انسانی مانند افزایش تمرکز، کاهش استرس، تقویت روحیه تیمی، ارتقاء خلاقیت و بهبود بهره‌وری انجام شده است. برخی از شرکت‌های پیشرو، به‌ویژه در حوزه‌های فناوری، نوآوری یا آموزش، استفاده از این بازی‌ها را به‌عنوان بخشی از سیاست‌های منابع انسانی خود پذیرفته‌اند. این در حالی است که در بسیاری از سازمان‌ها، به‌ویژه در صنایع سنتی‌تر یا ساختارهای رسمی‌تر، این رویکرد هنوز ناشناخته باقی مانده یا جدی گرفته نشده است. خوشبختانه در ایران مربیگری و داوری بازیهای فکری زیر نظر فدراسیون ورزشهای همگانی فعال است و شخصا با گذراندن دوره‌های آن دید جامع و تخصصی تری نسبت به این موضوعات را به دست آورده ام.
مقاله حاضر با هدف بررسی جامع نقش بازی‌های فکری در توانمندسازی کارکنان و ارتقاء عملکرد سازمانی تدوین شده و می‌کوشد تا با تکیه بر مبانی نظری، مطالعات پیشین و تجربیات موفق، ارزش‌های کاربردی این ابزار نوین را برای تصمیم‌گیرندگان سازمانی و مدیران منابع انسانی تبیین نماید. این پژوهش به دنبال پاسخ‌گویی به این پرسش است که چگونه می‌توان با طراحی و به‌کارگیری هدفمند بازی‌های فکری، زمینه‌ساز رشد فردی و تیمی کارکنان شد و در نهایت عملکرد سازمانی را بهبود بخشید.

⁄مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۱. مفهوم و ماهیت بازی‌های فکری

فعالیت های شناختی تعاملی یا بازی‌های فکری (Mind Games / Cognitive Games) به آن دسته از فعالیت‌های هدفمند گفته می‌شود که با تمرکز بر توانمندی‌های ذهنی و شناختی، فرد را درگیر فرآیندهایی نظیر تحلیل، حل مسئله، یادگیری، خلاقیت، تصمیم‌گیری و تمرکز می‌نمایند. این بازی‌ها ممکن است به صورت فردی یا گروهی، سنتی یا دیجیتال، و گاه به‌عنوان ابزار آموزش غیررسمی طراحی و اجرا شوند. بازی‌هایی همچون شطرنج، سودوکو، پازل‌ها، بازی‌های واژگانی، و انواع بازی‌های تعاملی دیجیتال از این دسته‌اند.
در محیط‌های سازمانی، این بازی‌ها می‌توانند علاوه بر تقویت مهارت‌های فردی، به افزایش همدلی، بهبود ارتباطات بین‌فردی، و توسعه هوش هیجانی کمک کنند.

۲. چارچوب نظری مرتبط

برخی نظریه‌های کلیدی که زمینه‌ساز استفاده از بازی در سازمان‌ها هستند، عبارتند از:

• **نظریه یادگیری تجربی (Kolb, ۱۹۸۴):** یادگیری زمانی عمیق‌تر اتفاق می‌افتد که فرد تجربه عملی و بازخورد فوری داشته باشد، که بازی‌های فکری این بستر را فراهم می‌کنند.

• **نظریه انگیزش درونی (Deci & Ryan, ۱۹۸۵):** فعالیت‌هایی که چالش‌برانگیز، خودخواسته و لذت‌بخش‌اند، باعث افزایش انگیزه درونی می‌شوند. بازی‌های فکری دقیقاً این ویژگی‌ها را دارند.

• **نظریه جریان (Flow) میهالی چیک‌سنت‌میهایی (۱۹۹۰):** تجربه عمیق تمرکز و درگیر شدن در فعالیتی لذت‌بخش، که در بسیاری از بازی‌ها قابل مشاهده است.

• **نظریه سرمایه روان‌شناختی سازمانی (Luthans, ۲۰۰۷):** بازی‌ها می‌توانند باعث افزایش امید، خوش‌بینی، خودکارآمدی و تاب‌آوری در کارکنان شوند.

۳. پیشینه پژوهش

مطالعات خارجی:

• مطالعه‌ای در MIT (۲۰۱۶) نشان داد استفاده از بازی‌های استراتژیک دیجیتال در تیم‌های مهندسی باعث افزایش سرعت تصمیم‌گیری و هماهنگی در پروژه‌ها شده است.

• در پژوهشی توسط IBM (۲۰۱۸)، بازی‌های فکری بخشی از برنامه توسعه رهبری کارکنان بودند که منجر به افزایش تعامل و خلاقیت در تیم‌های کاری شد.

مطالعات داخلی:

• تحقیقی در دانشگاه تهران (۱۳۹۹) نشان داد که بازی‌های فکری گروهی تأثیر مثبتی بر تعاملات بین‌فردی و کاهش استرس کاری در میان کارکنان واحد فناوری اطلاعات داشته است.

• پژوهش انجام‌شده در یک شرکت صنعتی اصفهان (۱۴۰۱) نیز بیانگر آن بود که اجرای برنامه‌های بازی‌محور منجر به ارتقاء رضایت شغلی و انگیزه کاری در کارکنان شده است.

۷بررسی اثرات بازیهای فکری در سازمانها

بر این اساس به کارگیری بازیهای فکری در سازمانها را در این مقاله از چهار جنبه بررسی و تحلیل می نماییم:

۱. توانمندسازی فردی کارکنان از طریق بازی‌های فکری

۲. توسعه مهارت‌های بین‌فردی و تیمی با بازی‌های فکری

۳. بهبود جو سازمانی و انگیزش درونی از طریق بازی‌های فکری

۴. ارتقاء بهره‌وری و عملکرد کلان سازمانی با بهره‌گیری از بازی‌های فکری

۱. توانمندسازی فردی کارکنان از طریق بازی‌های فکری

بازی‌های فکری می‌توانند به‌عنوان یک ابزار غیرفرماندهی و غیردستوری، کارکنان را از درون توانمند کنند. برخلاف آموزش‌های مستقیم و رسمی، این بازی‌ها از طریق تحریک ذهن، تجربه‌محور بودن، و لذت درونی، باعث رشد واقعی و پایدار مهارت‌های فردی می‌شوند. در ادامه، مهم‌ترین تأثیرات این بازی‌ها در سطح فردی بررسی می‌شود:

الف. تقویت تمرکز و توجه

مطالعات روان‌شناختی نشان می‌دهند که بازی‌هایی مانند شطرنج، سودوکو و بازی‌های دیجیتال حافظه، به‌طور مستقیم بر نواحی مغزی مرتبط با توجه متمرکز (Focused Attention) اثرگذارند. وقتی کارکنان در طول هفته درگیر چنین بازی‌هایی باشند، پس از مدتی بهبود در دقت انجام وظایف و کاهش خطاهای کاری مشاهده می‌شود.

مثال عملی: در یک پروژه تحقیقاتی در شرکت SAP، پس از گنجاندن یک دوره ۶هفته‌ای بازی‌های تمرکزی در وقت استراحت کارکنان، نرخ خطا در ورود داده‌ها تا ۲۷٪ کاهش یافت.

ب. افزایش مهارت حل مسئله و تصمیم‌گیری

بازی‌های استراتژیک مانند شطرنج یا بازی‌های سناریو محور (مثلاً بازی‌های سبک escape room مجازی) کارکنان را در موقعیت‌هایی قرار می‌دهند که باید تحت فشار، تصمیم‌گیری کنند. این مهارت، در فضای واقعی کسب‌وکار ارزش بالایی دارد، به‌ویژه در مشاغل مدیریتی، تحلیل‌گری، فروش و کنترل کیفیت.

مثال آموزشی: در سازمان‌های مشاوره‌ای، استفاده از بازی‌هایی مثل "Decision Dice" یا "If-Then Cards" برای تمرین سناریوهای تصمیم‌گیری، منجر به افزایش سرعت حل مسئله در جلسات واقعی شده است.

پ. تقویت حافظه و یادگیری فعال

کارکنانی که حافظه فعال قوی‌تری دارند، معمولاً در جذب دانش جدید، به‌روزرسانی اطلاعات فنی و پاسخگویی به چالش‌های نوین سازمانی موفق‌ترند. بازی‌های حافظه‌ای، مسابقات واژگان، یا چالش‌های شناختی هفتگی می‌توانند باعث رشد پیوسته ذهنی کارکنان شوند.

ارجاع نظری: نظریه پردازانی مانند Baddeley (۱۹۹۲) معتقدند که تمرین در "حافظه کاری" از طریق بازی، مستقیماً در بهره وری ذهنی در محیط‌های کاری منعکس می‌شود.

ت. توسعه خلاقیت و تفکر واگرا

بازی‌هایی که چند راه‌حل ممکن دارند (مثل brainstorm puzzles یا lateral thinking games) ذهن را از تفکر خطی خارج کرده و کارکنان را برای دیدن مسیرهای متفاوت آماده می‌کنند. خلاقیت، امروز یکی از کلیدی‌ترین شایستگی‌های نیروی انسانی در اقتصاد دانشی است.

مقایسه قبل و بعد: در یکی از واحدهای تحقیق و توسعه یک شرکت ایرانی تولیدی، پس از اجرای "چالش هفتگی خلاقیت با بازی" به مدت ۳ ماه، تعداد پیشنهادهای نوآورانه از طرف کارکنان ۳ برابر شد.

۲. توسعه مهارت‌های بین‌فردی و تیمی با بازی‌های فکری

تعاملات انسانی در محیط کار نقش حیاتی در موفقیت پروژه‌ها، رضایت شغلی و بهره‌وری سازمانی دارند. بازی‌های فکری گروهی، بستر مناسبی برای پرورش مهارت‌های نرم هستند که در آموزش‌های سنتی کمتر به آن‌ها پرداخته می‌شود. این بازی‌ها، در عین سرگرمی، باعث تقویت ارتباط، درک متقابل، و هماهنگی تیمی می‌شوند.

الف. تقویت مهارت‌های ارتباطی

در بسیاری از بازی‌های گروهی (مانند Codenames یا Taboo)، شرکت‌کنندگان باید ایده‌های خود را واضح و مختصر بیان کنند و هم‌زمان به پیام‌های غیرمستقیم و نشانه‌های دیگران هم توجه داشته باشند. این مهارت‌ها در جلسات کاری، گزارش‌دهی و مذاکرات بسیار کلیدی هستند.

مثال سازمانی: در یک شرکت فناوری اطلاعات، تیم فروش و پشتیبانی به مدت ۴ هفته در بازی‌های ارتباطی مشارکت داشتند. پس از آن، نرخ نارضایتی مشتریان به‌خاطر "سوءتفاهم یا ارتباط ناقص" ۱۸٪ کاهش یافت.

ب. افزایش روحیه همکاری و کار تیمی

بازی‌هایی مثل escape room، بازی‌های رومیزی استراتژیک یا چالش‌های گروهی آنلاین کارکنان را مجبور به تقسیم وظایف، گوش دادن به نظرات دیگران و کار مشترک برای رسیدن به هدف می‌کنند. چنین تجربه‌هایی فضای تیمی واقعی را بازسازی می‌کنند و روابط کاری را بهبود می‌بخشند.

ارجاع نظری: طبق دیدگاه Vygotsky، یادگیری و رشد اجتماعی از طریق «تعامل فعال در موقعیت‌های گروهی» تسهیل می‌شود. بازی‌ها دقیقاً چنین فضایی را در محیط سازمانی ایجاد می‌کنند.

پ. افزایش اعتماد و همدلی میان کارکنان

بازی‌های فکری، به‌ویژه آن‌هایی که جنبه‌های احساسی یا نقش‌آفرینی دارند (مثل role-play games یا بازی‌های حل تعارض)، باعث شناخت بهتر افراد از یکدیگر، همدلی با همکاران و ایجاد اعتماد متقابل می‌شوند. این مسئله در تیم‌هایی که دچار شکاف یا سوءتفاهم هستند، بسیار کاربردی است.

مقایسه پیش و پس از مداخله: در یک سازمان خدماتی که با تنش‌های بین‌فردی مواجه بود، اجرای کارگاه بازی‌محور با محوریت "همدلی در تیم‌ها" باعث کاهش اختلافات و افزایش رضایت تیمی در ارزیابی ۳ ماه بعدی شد.

ت. تمرین مهارت‌های رهبری و پیروی (followership)

برخی از بازی‌ها به‌صورت چرخشی نقش رهبری و پیروی را بین اعضا جابه‌جا می‌کنند (مثل بازی‌های نقش‌محور تاکتیکی یا برنامه‌های شبیه‌سازی رهبری). این فرصت‌ها باعث رشد رهبران بالقوه و همچنین تقویت توانایی پیروی مؤثر در سایر اعضا می‌شوند. مثال اجرایی: در یک بانک خصوصی، بازی‌های نقش‌محور برای مدیران میانی برگزار شد. شرکت‌کنندگانی که در این برنامه‌ها عملکرد خوبی داشتند، طی ۶ ماه آینده در برنامه‌های ارتقاء شغلی موفق‌تر عمل کردند.

۳. بهبود جو سازمانی و انگیزش درونی از طریق بازی‌های فکری

یکی از چالش‌های رایج در سازمان‌ها، ایجاد محیطی پویا، شاد و باانگیزه برای کارکنان است. بازی‌های فکری، به‌ویژه زمانی که به‌صورت منظم و هوشمندانه در فرآیندهای سازمانی گنجانده شوند، می‌توانند نقش مؤثری در خلق چنین فضایی ایفا کنند. در ادامه، مهم‌ترین تأثیرات آن‌ها در سطح جو سازمانی بررسی می‌شود:

الف. کاهش استرس و فرسودگی شغلی

بازی‌های فکری نوعی استراحت فعال هستند. آن‌ها ذهن را از فشارهای شغلی رها می‌کنند، بدون اینکه کاملاً از فضا و فعالیت حرفه‌ای جدا شوند. بر خلاف چک کردن موبایل یا گفت‌وگوهای غیرسازنده، بازی‌های ذهنی سازمان‌یافته باعث تجدید قوای شناختی می‌شوند.مثال سازمانی: در یک واحد صنعتی پرتنش، اجرای روزانه‌ی یک بازی کوتاه فکری (مثل "حدس کلمه تیمی") در زمان استراحت، طی سه ماه منجر به کاهش ۲۵٪ گزارش‌های مرتبط با خستگی ذهنی شد.

ب. افزایش شادی سازمانی و حس تعلق

کارکنانی که در کنار یکدیگر می‌خندند، رقابت دوستانه دارند و سرگرم می‌شوند، تعلق بیشتری به محیط کاری احساس می‌کنند. بازی‌ها فرصت ایجاد خاطره مشترک، تقویت روابط عاطفی و شادی پایدار در محل کار را فراهم می‌کنند.

ارجاع نظری: نظریه «شادکاری» (Happy Work) بیان می‌کند که شادمانی در کار، نه یک پاداش، بلکه پیش‌نیاز بهره‌وری است. بازی‌ها، به‌ویژه در قالب رویدادهای هفتگی یا رقابت‌های گروهی، این شادمانی را در بطن سازمان تزریق می‌کنند.

پ. ایجاد انگیزش درونی از طریق چالش و پیشرفت شخصی

بازی‌های فکری با ارائه چالش‌های منطقی، سطح مشخصی از دشواری و بازخورد فوری، دقیقاً همان عواملی را فراهم می‌کنند که نظریه انگیزش درونی بر آن‌ها تأکید دارد. کارمندانی که در این بازی‌ها شرکت می‌کنند، اغلب بدون اجبار بیرونی انگیزه رشد و مشارکت بیشتری از خود نشان می‌دهند.

مطالعه موردی: در یک شرکت استارت‌آپی، تیم منابع انسانی مسابقه هفتگی "چالش مغز" را طراحی کرد. کارکنان داوطلب شرکت می‌کردند و برندگان امتیازهای جزئی (مثل ناهار رایگان یا انتخاب آهنگ دفتر) دریافت می‌کردند. مشارکت بالا و پایداری این طرح باعث شد این شرکت آن را در بخش‌های دیگر هم توسعه دهد.

ت. ترویج فرهنگ یادگیری و نوآوری

سازمان‌هایی که بازی‌های فکری را در قالب‌های یادگیرنده پیاده‌سازی می‌کنند، اغلب فرهنگ یادگیری فعال و باز بودن به تجربه را ترویج می‌دهند. این فضا می‌تواند به خلق ایده‌های نو، پذیرش بهتر تغییر و افزایش انعطاف‌پذیری کارکنان بینجامد. مثال کاربردی: در یک سازمان بزرگ دارویی، بخش R&D به‌جای جلسات رسمی ایده‌پردازی، هر دو هفته یک "دورهمی بازی‌محور" برگزار می‌کرد که در آن، اعضا باید از طریق بازی‌های تفکر خلاق، راه‌حل‌هایی برای یک مشکل فرضی طراحی می‌کردند. خروجی این جلسات در چند مورد به نوآوری‌های واقعی تبدیل شد.

۴. ارتقاء بهره‌وری و عملکرد کلان سازمانی با بهره‌گیری از بازی‌های فکری

اگرچه بازی‌های فکری در ظاهر جنبه‌ای سرگرم‌کننده و شخصی دارند، اما در سطح کلان، تأثیرات آن‌ها به شکل مستقیم و غیرمستقیم در ارتقاء شاخص‌های عملکرد سازمانی دیده می‌شود. در این بخش، به بررسی این تأثیرات کل‌نگرانه می‌پردازیم:

الف. افزایش بهره‌وری از طریق یادگیری غیررسمی

بازی‌های فکری فرصتی فراهم می‌کنند برای یادگیری در فضایی غیرفشارده، اما مؤثر و ماندگار. در سازمان‌هایی که بازی‌ها را به‌عنوان ابزار آموزشی به کار می‌گیرند، یادگیری تبدیل به یک تجربه جذاب می‌شود، نه یک اجبار خسته‌کننده.

مثال سازمانی: شرکت IBM از یک سیستم بازی‌محور به نام Innov۸ برای آموزش مفاهیم پیچیده مدیریت فرآیندهای کسب‌وکار استفاده کرد. مطالعات نشان داد کارمندانی که با این ابزار آموزش دیده بودند، درک عمیق‌تری از فرآیندها داشتند و سرعت تصمیم‌گیری‌شان بالاتر بود.

ب. بهبود بهره‌وری تیمی از طریق تقویت هم‌افزایی شناختی

بازی‌های گروهی مثل Scrum simulation games یا بازی‌های مدیریت منابع، اعضای تیم را به هم نزدیک‌تر کرده، ارتباطات بین‌وظیفه‌ای را بهبود می‌دهند و در نتیجه تصمیم‌سازی‌ها، حل مسئله و پیشبرد پروژه‌ها سریع‌تر و مؤثرتر انجام می‌شود.

ارجاع علمی: در مقاله‌ای از Harvard Business Review (۲۰۱۹)، نشان داده شد که تیم‌هایی که در جلسات تیم‌سازی مبتنی بر بازی شرکت کرده بودند، تا ۴۰٪ سریع‌تر در اجرای پروژه‌های خود عمل کرده‌اند.

پ. افزایش انعطاف‌پذیری سازمانی و تاب‌آوری

بازی‌ها اغلب سناریوهایی را شبیه‌سازی می‌کنند که با عدم قطعیت، تغییرات ناگهانی و فشارهای لحظه‌ای همراه هستند. این امر به کارکنان کمک می‌کند تا با موقعیت‌های مشابه در دنیای واقعی بهتر کنار بیایند، تصمیم‌گیری سریع‌تری داشته باشند و از تغییر نهراسند.مثال کاربردی: در یک هلدینگ خدمات مالی، بازی‌های شبیه‌سازی بحران برای مدیران میانی طراحی شد. پس از ۶ ماه، ارزیابی بحران‌های واقعی (نظیر اختلال سیستمی یا فشار مشتری) نشان داد تیم‌های آموزش‌دیده، واکنش حرفه‌ای‌تر و سریع‌تری داشتند.

ت. ارتقاء فرهنگ مشارکت، رقابت مثبت و تعلق سازمانی

بازی‌ها بسترهایی فراهم می‌کنند که در آن کارکنان نه‌تنها برای پیشرفت خود، بلکه برای موفقیت تیم و سازمان رقابت می‌کنند. این فضای مثبت رقابتی، باعث می‌شود افراد احساس کنند بخشی از موفقیت کل سازمان هستند.

مقایسه اثرگذاری: در سازمان‌هایی که "امتیازدهی بازی‌محور به مشارکت کارکنان" را اجرا کرده‌اند (مثلاً ارائه نشان افتخار، مدال بازی یا رتبه‌بندی تیمی)، نرخ مشارکت در فرآیندهای درون‌سازمانی تا ۲ برابر افزایش یافته است.

نتیجه‌گیری

بر اساس یافته‌های این مطالعه، بهره‌گیری از بازی‌های فکری در محیط‌های سازمانی فراتر از ابزاری صرفاً تفریحی، به‌عنوان یک راهبرد میان‌مدت و بلندمدت در توسعه سرمایه انسانی است و نتایج بکارگیری این نوع بازی‌ها با تأثیرگذاری بر مؤلفه‌هایی چون تقویت مهارت‌های شناختی و بین‌فردی، ارتقاء تعاملات تیمی، بهبود جو سازمانی و ایجاد انگیزش درونی، می‌توانند زمینه‌ساز افزایش بهره‌وری فردی و سازمانی باشند. در فضای پیچیده و پرچالش امروز که سازمان‌ها ناگزیر به انطباق‌پذیری و نوآوری مستمر هستند، بازی‌های فکری می‌توانند به‌مثابه یک رویکرد خلاقانه و اثربخش برای توانمندسازی منابع انسانی و ارتقاء عملکرد سیستماتیک تلقی گردند که در نهایت بر اساس بررسی منابع بین‌المللی، حاکی از آن است که پیاده‌سازی اثربخش سازوکارهای مبتنی بر بازی‌سازی (Gamification)، در برخی سازمان‌ها منجر به افزایش چشمگیر در شاخص‌های سودآوری و بهره‌وری شده است. به عنوان نمونه، در گزارش SC Training (۲۰۲۵) عنوان شده است که شرکت‌هایی که به‌طور مؤثر از این روش‌ها استفاده کرده‌اند، تا ۷ برابر نسبت به رقبای خود سودآورتر بوده‌اند؛ هرچند باید توجه داشت که این آمارها به شرایط خاص سازمان‌ها بستگی داشته و نباید به‌صورت تعمیم‌پذیر تلقی شوند.

پیشنهادات سیاستی و راهبردی

۱. نهادینه‌سازی بازی‌های فکری در راهبردهای توسعه منابع انسانی

توصیه می‌شود سازمان‌ها در تدوین سیاست‌های یادگیری و توسعه کارکنان، نقش بازی‌های فکری را به‌صورت ساختارمند لحاظ نموده و آن‌ها را در قالب برنامه‌های آموزشی، کارگاه‌های مهارت‌افزایی و فرآیندهای ارزیابی منابع انسانی به‌کارگیرند.

۲. طراحی هدفمند بازی‌ها بر اساس نیازسنجی شغلی و سازمانی

طراحی و انتخاب بازی‌ها می‌بایست مبتنی بر تحلیل شایستگی‌های مورد نیاز در هر واحد کاری و متناسب با سطوح سازمانی صورت گیرد. همکاری با متخصصان طراحی بازی‌های آموزشی یا مشاوران توسعه منابع انسانی در این زمینه مهم است.

۳. فرهنگ‌سازی پیرامون جایگاه بازی در فضای حرفه‌ای

تبیین کارکردهای روان‌شناختی و سازمانی بازی‌های فکری برای مدیران و کارکنان، می‌تواند منجر به تغییر نگرش نسبت به این ابزارها شده و پذیرش فرهنگی آن‌ها را تسهیل نماید.

۴. پایش و ارزیابی مستمر اثرات مداخلات بازی‌محور

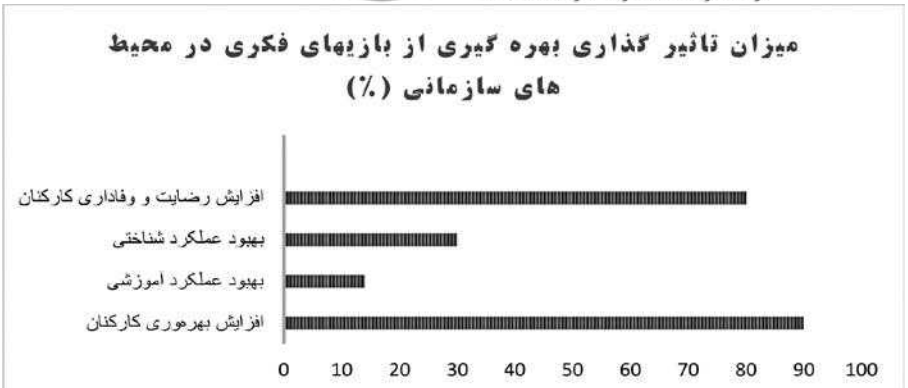
سازمان‌ها لازم است با بهره‌گیری از روش‌های کمّی و کیفی، تأثیرات ناشی از اجرای بازی‌ها را در حوزه‌هایی نظیر رضایت شغلی، مشارکت تیمی، بهره‌وری و یادگیری مستمر، سنجش و تحلیل نموده و بر اساس داده‌های تجربی مسیر اصلاح یا گسترش آن را تعیین کنند.

۵. توسعه پلتفرم‌های دیجیتال بازی‌محور در بستر سازمانی

تلفیق فناوری‌های نوین با بازی‌های فکری، از جمله استفاده از اپلیکیشن‌ها و نرم‌افزارهای آموزشی-تفریحی، امکان‌پذیری و دسترس‌پذیری این رویکرد را در سازمان‌های بزرگ و یا چند مکانه افزایش می‌دهد.

پیشنهادات اجرایی کوتاه‌مدت برای سازمان‌ها

- برنامه‌ریزی برای برگزاری رویدادهای بازی‌محور فصلی در قالب روز سازمانی یا کادو سازمانی
- راه‌اندازی کلوب‌های داخلی بازی‌های فکری جهت حفظ پیوستگی اجرا
- بهره‌گیری از بازی‌های گروهی در فرایندهای جذب و ارزیابی عملکرد
- استفاده از بازی به‌عنوان ابزار یخ‌شکن در جلسات تفکر خلاق یا استراتژیک
- توسعه بسته‌های یادگیری مبتنی بر بازی برای توانمندسازی کارکنان جدید



برگرفته از مطالعات و گزارش‌های علمی شامل SC Training (۲۰۲۵)، Atto (۲۰۲۳)، Benzing et al. (۲۰۲۲)، و ResearchGate (۲۰۲۳)

منابع در دفتر مجله موجود می‌باشد

مدیریت هوشمند چالش‌های حوزه برق در صنایع نفت و گاز

بهداد قره گوزلو
مدیر عامل شرکت دانش بنیان پترو فولاد بهمن

مقدمه :
پایداری تأمین انرژی الکتریکی برای صنایع نفت و گاز اهمیت راهبردی دارد. تجهیزات برق در این صنایع نه تنها باید قابلیت اطمینان بالا داشته باشند، بلکه تامین پیوسته برق نیز برای جلوگیری از توقف تولید حیاتی است. در سال‌های اخیر دو چالش عمده در این حوزه نمایان شده است:
نخست، فرسودگی تجهیزات کلیدزنی قدرت (مانند دژنکتورها و سوئیچ‌گیرها) که به دلیل قدمت، کمبود قطعات یدکی و تحریم‌ها، خطرات عملیاتی ایجاد کرده‌اند.
دوم، کمبود برق در برخی فصول سال که به کاهش یا توقف تولید در صنایع انرژی‌بر (از جمله پالایشگاه‌ها و پتروشیمی‌ها) منجر شده است.
این مقاله به بررسی این دو چالش اساسی می‌پردازد و راهکارهای مدیریتی و فنی / اقتصادی برای حل آن‌ها را با اتکا به تجربه‌های داخلی و منابع معتبر تحلیل می‌کند.

دو چالش بزرگ برق قدرت در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی

۱. فرسودگی کلیدهای قدرت و راهکار رتروفیت:

یکی از معضلات موجود در پالایشگاه ها و پترو پالایش ها و صنایع وابسته آن ها وجود کلید های قدرت قدیمی که طول عمر مفیدشان تمام شده و دیگر توسط کارخانه تولید کننده تولید نمی شوند و یا قطعات یدکی آن‌ها هم در دسترس نبوده و بدلیل وجود شرایط تحریمی امکان تامین آن‌ها وجود ندارد.

لذا در جهت رفع این چالش اولاً با خرابی و قطعی کلیدها بر اثر حادثه یا خرابی قطعه خطوط تولید از کار افتاده و باعث بروز خسارات سنگینی بصورت روزانه به صنعت می گردد، ثانیاً اگر تصمیم بر این باشد تا کلیدخانه ها را از نو ساخته و تجهیزات روز نصب نمایند هم قطعی برق طولانی مدت بوجود خواهد آمد و هم هزینه هنگفتی را باید آن کارخانه متحمل شود تا برق مجدد در خطوط تولید جریان پیدا نماید.

جهت رفع این چالش راهکار رتروفیت (نوسازی) پیشنهاد می‌گردد. شرکت پترو فولاد بهمن از حدود ۱۰ سال قبل اقدام به نوسازی کلیدهای قدیمی نمود و در سال ۹۸ با توجه به فن آور بودن این فرآیند ، به شرکت‌های دانش بنیان ملحق گردید و موفق به اخذ گواهی آن شد.

۲. چالش کمبود برق در روزهای مختلف سال در بخش صنعت

در حال حاضر سرمایه گذاری های خوبی از سوی برخی صنایع کشور در راستای احداث نیروگاه های برق انجام شده است و شرکت ها به نوعی آمادگی خود را در این زمینه اعلام کرده اند.

در این بین آنچه حائز اهمیت است، تامین پایدار خوراک نیروگاه ها (گاز) توسط دولت بوده که باید سرمایه گذاری لازم در این زمینه را انجام دهد. در واقع دولت و وزارت نفت باید به نوعی این ضمانت را به صنایع کشور بدهند که در صورت احداث نیروگاه، گاز مورد نیاز آنها به صورت پایدار تامین خواهد شد.

متاسفانه گاز برخی نیروگاه های برق احداث شده در جنوب کشور طی سه تا چهار ماه از سال قطع است که این مسئله سیاست ها و اقدامات شایسته و درخور تقدیر دولت مانند الزام به تامین یک تا ۵ درصد انرژی مورد نیاز صنایع از محل انرژی های تجدیدپذیر را تحت الشعاع قرار خواهد داد؛ البته پیشنهاد ما این است که سبد انرژی های تجدیدپذیر و نو در کشور متنوع تر شده و محدود به انرژی خورشیدی نباشد که از جمله این انرژی ها میتوان به بادی، برقآبی، زمین گرمایی و... اشاره کرد.در یک نگاه کلی، معتقدیم که حمایت از صنایع تولید کننده کشور به ویژه در حوزه تامین پایدار انرژی باید ادامه پیدا کند زیرا صنعت نفت ، پتروشیمی ، فولاد و ... نقش بسزایی در توسعه صنعتی و رشد اقتصادی کشور ایفا میکنند از طرفی، با توجه به شرایط تحریم و دشوار اقتصادی که کشور با آن مواجه است، هزینه های تولید در کارخانه های تولید مواد اولیه نیز افزایش یافته و ضرورت دارد که صنایع حداقل تمهیدات لازم جهت تامین پایدار انرژی این واحدها علی الخصوص برق را بیاندیشد.

شرکت پترو فولاد بهمن

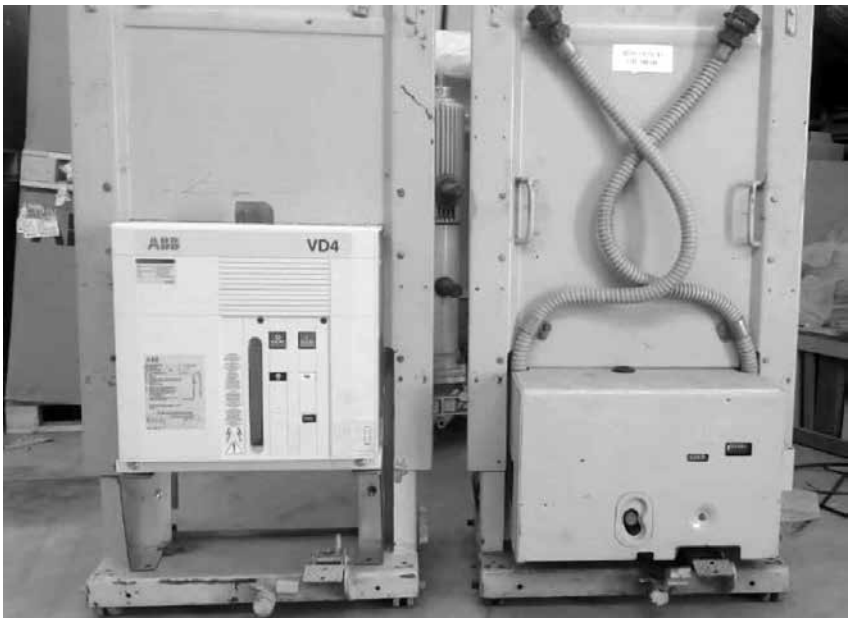
این شرکت، یک واحد تولیدی به روز و نوین در حوزه ارائه خدمات فنی و مهندسی برق، رتروفیت کلیدهای قدرت و تامین تجهیزات و کالای بازرگانی تخصصی در صنعت برق در سطوح فشار قوی و فشار متوسط، اتوماسیون صنعتی، کنترل و ابزار دقیق است که طی سالیان فعالیت خود توانسته با تکیه بر توان و دانش متخصصان و کارشناسان خبره و همچنین کیفیت بالای محصولات تولیدی، سهم قابل توجهی از بازارهای داخلی و همچنین منطقه ای و فرا منطقه ای در این حوزه را به خود اختصاص دهد.

اقدامات و دستاوردهای شرکت پترو فولاد بهمن

شرکت دانش بنیان پترو فولاد بهمن فعالیت خود را در دو زمینه طی ماههای اخیر گسترش داد.

۱. تکمیل و راه اندازی کارخانه رتروفیت (نوسازی و به‌روز آوری) کلیدهای قدرت قدیمی که برای نخستین بار در کشور راه اندازی گردیده و موفق به احداث کارخانه ای در شهرک صنعتی شمس آباد گردید و زمینه اشتغالزایی مستقیم برای حدود ۴۵ نفر را فراهم شد. لازم به ذکر است که این شرکت تنها شرکتی است که موفق به اخذ جواز احداث چنین کارخانه ای در کشور گردیده ؛ ضمن اینکه بخش عمده ای از دستگاه ها و ماشین آلات مورد استفاده در این کارخانه توسط کارشناسان خود شرکت ساخته شدند و حدود ۷۰ درصد دستگاه ها ساخت داخل هستند.

کلیه فرآیند نقشه برداری سه بعدی از تابلوی باسبار و کلید قدرت قدیمی تا طراحی و تولید کلید رتروفیت قدرت جدید توسط تیم فنی شرکت انجام می پذیرد.



مزایای این کار:

- نوسازی کلیدهای قدیمی
- جلوگیری از قطعی برق طولانی و بروز خسارات تولید
- وجود قطعات یدکی تا سال‌های متمادی
- جلوگیری از هزینه کرد ساخت کلیدخانه جدید

۲. اخذ نمایندگی و انتقال تکنولوژی شرکت PINGGAOبه عنوان یکی از تولیدکنندگان نام آشنای سوئیچگیر GIS در جهان به داخل کشور انجام گرفت و در برنامه های آتی تصمیم بر بومی سازی محصولات تولیدی آن شرکت در کشور گرفته‌ایم.

این شرکت از تکنولوژی منحصر به فردی برخوردار است که بر مبنای آن میتوان تا ۱۱۰۰ کیلوولت سوئیچگیرGIS تولیدکرد؛ در حالی که این میزان در کشور ما به ۴۰۰ کیلوولت میرسد وپتانسیل افزایش آن تا ۱۱۰۰ کیلوولت وجود دارد.

در واقع اگر وزارتخانه های متولی به عنوان کارفرما بودجه لازم برای عملیاتی شدن چنین پروژهای را تامین کنند، ما این آمادگی را داریم که با همکاری طرف چینی، برای اولین بار خط انتقال برق یک هزار و ۱۰۰کیلوولتی در داخل را راه اندازی کنیم.

همچنین این شرکت تکنولوژی انتقال برق DC به میزان ۸۰۰ کیلوولت را در اختیار دارد و با توجه به اینکه انتقال برق در کشور در قالب AC است، بنابراین این امکان وجود دارد که با همکاری این شرکت، پروژه مذکور را برای نخستین بار در کشور عملیاتی نمود.

لازم به ذکر است که در اولین گام همکاری ، به دنبال تولید سوئیچگیرهای گازی در سطح فشار متوسط بوده و در ادامه به اجرای پروژه های مذکور، در صورت حمایت و همکاری دولت و وزارتخانه های مرتبط با صنایع مادر همچون وزارت نیرو و وزارت نفت ورود خواهیم کرد.

۳. اجرای چندین پروژه تعمیرات اساسی یا Overhaul کلیدهای ژنراتوری در نیروگاه های برق داخل کشور و همچنین کشور عمان.

۴. بخش راه اندازی کلیدهای ژنراتوری نیروگاه ابرپروژه اوماویا در کشور سریلانکا که توسط مهندسان مجرب این شرکت با موفقیت به انجام رسید.

از برنامه ی آتی شرکت پترو فولاد بهمن تولید سوئیچگیرهای گازی فشار متوسط در آینده نزدیک می باشد.

برنامه اصلی شرکت تولید داخلی سوئیچ‌گیرهای گازی فشار متوسط با همکاری شرکت Pinggao است. این آمادگی وجود دارد تا در صورت حمایت دولت، در پروژه‌هایی با فناوری‌های پیشرفته مانند انتقال برق DC تا ۸۰۰ کیلوولت یا GIS تا ۱۱۰۰ کیلوولت نیز وارد شویم.

انتظار از دولت و نهادهای بالادستی در راستای حمایت از شرکتهای دانش بنیان

با افزایش حمایت های دولت از صنایع، بستر همکاری با شرکت های توانمند داخلی و دانش بنیان که خود عضوی از خانواده صنایع مادر هستند را فراهم نماید. در واقع دولت و مدیران بخش های مختلف باید بستر توسعه را برای کل وزارت نفت به عنوان متولی اصلی صنایع نفتی کشور فراهم کرده تا معضل کمبود برق در پالایشگاه‌ها و صنایع وابسته را مرتفع نماید ؛ در غیر این صورت در آینده با بحران جدی در تامین برق در صنایع مواجه خواهیم شد که خسارات جبران‌ناپذیری بر بدنه صنعت و اقتصاد کشور بر جای می‌گذارد. برخی از صنایع بزرگ مانند پتروشیمی و فولاد این مسیر را آغاز کرده‌اند.

به صنایع پیشنهاد می‌گردد با احداث نیروگاه‌های کوچک خودتأمین و همچنین ورود به انرژی‌های نو، از وابستگی به شبکه سراسری بکاهند. البته، دولت نیز باید در زمینه تأمین پایدار سوخت گاز این نیروگاه‌ها همکاری کند.

کلام پایانی

مدیریت هوشمند چالش‌های حوزه برق در صنایع نفت و گاز، نیازمند راهکارهایی نوآورانه، سریع و اقتصادی است. تجربه شرکت‌هایی چون پترو فولاد بهمن نشان می‌دهد که می‌توان با اتکا به دانش داخلی و تعامل با تکنولوژی جهانی، نه‌تنها از بحران‌ها عبور کرد بلکه به فرصت‌های رشد صنعتی دست یافت.

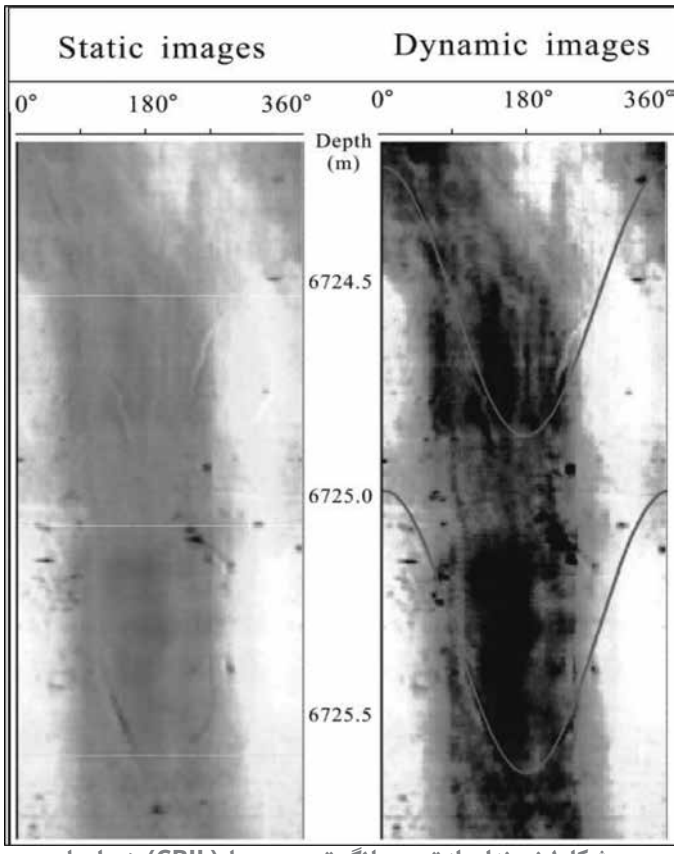
لاگ‌های پیشرفته تصویری چگونه به شناسایی ساختارهای زمین‌شناسی زیرسطحی کمک می‌کنند؟

مهسا عبداللهی
دکتری زمین شناسی ساختمانی و تکتونیک
شرکت توسعه پتروایران

لاگ‌های تصویری با وضوح بالا که اطلاعات رسوبی و ساختاری را در مقیاس میلی‌متری ارائه می‌دهند، برای تفسیر مخازن رسوبی اهمیت حیاتی دارند (Keeton et al., ۲۰۱۵; Brekke et al., ۲۰۱۷). لاگ‌های تصویری، زمانی که با مغزه‌ها و دیگر لاگ‌های متداول کالیبره شوند، می‌توانند اطلاعات ارزشمندی در ارتباط با لیتولوژی، بافت‌های رسوبی، جهت جریان دیرینه، شیب ساختارهای زمین‌شناسی ، تنش برجا و ارزیابی شکستگی‌ها فراهم آورند (Kosari et al., ۲۰۱۵; Xu et al., ۲۰۱۶). با وجود دهه‌ها کاربرد لاگ‌های تصویری در صنعت نفت، همچنان تفسیر ساختارهای زمین‌شناسی، به‌ویژه در شرایطی که محیط زمین‌شناسی پیچیده باشد و یا کیفیت تصویر (از نظر وضوح، سطح نویز و کنتراست پتروفیزیکی) متغیر باشد، پیچیده است.

لاگ‌های تصویری یکی از انواع لاگ‌های پیشرفته و مدرن است که ویژگی‌های فیزیکی دیواره گمانه (از جمله مقاومت الکتریکی یا امپدانس صوتی) را به تصویر می‌کشد (Khoshbakht et al., ۲۰۰۹, ۲۰۱۲; Brekke et al., ۲۰۱۷). ابزارهای تصویربرداری صوتی، زمان سیر و دامنه بازتاب پالس‌های اولتراسونیک را ثبت می‌کنند، در حالی که ابزارهای تصویربرداری الکتریکی جریان الکتریکی اطراف دیواره گمانه را تحت یک پتانسیل الکتریکی ثابت اندازه‌گیری می‌کنند(Nie et al., ۲۰۱۳; Lai et al., ۲۰۱۷). اندازه‌گیری و تفسیر تصاویر الکتریکی یا اولتراسونیک گمانه، تصاویری پیوسته و جهت‌دار با وضوح عمودی بسیار بالا تا حدود ۵ میلی‌متر از دیواره گمانه فراهم می‌سازد(Kosari et al., ۲۰۱۵).

نخستین ابزار تصویربرداری صوتی که به‌طور پایدار توسعه یافت و مورد استفاده قرار گرفت، با نام Borehole Televiewer یا BHTV شناخته می‌شود (Massiot et al., ۲۰۱۵). هم زمان سیر موج صوتی و هم تضعیف دامنه موج صوتی ثبت شده و در مراحل مختلف پردازش، به تصویری رنگی تبدیل می‌شوند. سیگنال‌های زمان سیر صوتی و دامنه، که اطلاعاتی درباره شکل گمانه و تغییرات ویژگی‌های سنگ فراهم می‌کنند، به‌صورت تصاویری ۳۶۰ درجه از دیواره گمانه نمایش داده می‌شوند(Massiot et al., ۲۰۱۵). گمانه به کمک شتاب‌سنج‌ها و مغناطیس‌سنج‌های سه‌محوره داخلی مورد پایش قرار می‌گیرد و وضوح تصویری حاصل در حدود ≥۱ سانتی‌متر است(Lagraba et al., ۲۰۱۰) . برای مثال، ابزار تصویربرداری آکوستیک CBIL (Circumferential Borehole Imager Log) از شرکت Baker Hughes، دیواره گمانه را با استفاده از یک مبدل چرخان اصلاح‌شده اسکن می‌کند. تغییرات در ویژگی‌های سنگ و هندسه گمانه منجر به تغییر در زمان سیر و دامنه موج صوتی ثبت‌شده می‌شود. شکستگی‌هایی که دارای دامنه آکوستیکی پایین هستند، به‌صورت امواج سینوسی تیره‌شکل شناسایی می‌شوند (شکل۱).



شکل۱-نمونه‌ای از تصویر لاگ تصویری چاه(CBIL) همراه با شکستگی‌هایی که به‌صورت دستی ترسیم و ردیابی شده‌اند

ابزارهای تصویربرداری صوتی امکان شناسایی شکستگی‌ها، شکست‌های دیواره گمانه(Breakouts) ، و حفرات (Vugs) را در سراسر محیط دیواره گمانه فراهم می‌سازند. در مقابل، لاگ‌های

تصویری الکتریکی نسبت به تغییرات لیتولوژی حساسیت بیشتری دارند و می‌توانند اطلاعات دقیقی از لایه‌بندی‌های ریز مانند شکستگی‌ها، گسل‌ها و لایه‌بندی‌های مورب (Cross-bedding) ارائه دهند، هرچند که پوشش محدودتری از دیواره گمانه نسبت به تصاویر صوتی دارند (Jafari et al., ۲۰۱۲).

نخستین ابزار لاگ‌برداری تصویری الکترونیکی که به‌صورت تجاری در دسترس قرار گرفت، (FMS) Formation Microscanner شرکت Schlumberger بود (National Research Council, ۱۹۹۶). ابزار تصویربرداری FMS یک ابزار تصویربرداری الکتریکی ته‌چاهی است که تصاویر پیوسته و جهت‌دار با پوشش حدود ۴۰ درصد از دیواره یک گمانه به قطر ۸ اینچ ارائه می‌دهد (جدول۱). این ابزار شامل چهار پد عمود بر هم است که هر کدام دارای ۱۶ الکترود می‌باشند. در زمان لاگ‌برداری، این پدها با دیواره گمانه در تماس مستقیم هستند و با نرخ نمونه‌برداری عمودی ۲٫۵ میلی‌متر، سازند را اسکن می‌کنند. هر پد، ۱۶ منحنی میکرومقاومت ویژه تولید می‌کند. سپس این منحنی‌ها با استفاده از یک طیف رنگی که تفاوت‌های مقاومت الکتریکی را نمایش می‌دهد، به تصویری به شکل نقشه از دیواره گمانه تبدیل می‌شوند(Moreau and Joubert, ۲۰۱۶; Serra, ۱۹۸۹). در تصاویر FMS، نواحی با رنگ‌های روشن نشان‌دهنده سنگ‌های مقاوم، متراکم، و سیمانی‌شده، مواد آلی یا حضور هیدروکربن‌ها هستند؛ در حالی که نواحی تیره‌رنگ معرف رس‌ها، سنگ‌های شبیه به شیل، یا میزان بالای آب در حفرات و فضاهای منفذی می‌باشند(Khoshbakht et al., ۲۰۱۲; Muniz and Bosence, ۲۰۱۵).

ابزار تصویربرداری الکتریکی Fullbore Formation MicroImager (FMI)) که نسخه‌ای پیشرفته از ابزار FMS محسوب می‌شود (Ekstrom et al., ۱۹۸۷)، از چهار پد اصلی تشکیل شده که به دو بازوی عمود بر هم متصل‌اند، و هر پد دارای یک باله (flap) متصل به خود است(Rajabi et al., ۲۰۱۰; Lagraba et al., ۲۰۱۰). بر این اساس، ابزار FMI می‌تواند به‌صورت ۸ پدی با استفاده همزمان از پدها و باله‌ها و یا به‌صورت ۴ پدی مانند حالت FMS که فقط از پدها استفاده می‌شود، مورد استفاده قرار گیرد. هر پد یا باله دارای ۲۴ الکترود دکمه‌ای (button) است و در زمان برداشت، در تماس مستقیم با دیواره گمانه قرار می‌گیرد. این الکترودها که بر روی چهار پد و چهار باله جمع‌شونده قرار گرفته‌اند، منحنی‌های میکرومقاومت ویژه تولید می‌کنند که از طریق آن‌ها، تصویر کامپیوتری از دیواره گمانه بازسازی می‌شود (Moreau and Joubert, ۲۰۱۶). در مقایسه با FMS، هر پد در ابزار FMI سطح کمتری از دیواره گمانه را پوشش می‌دهد، اما در مجموع، ابزار FMI قادر است در یک گمانه با قطر ۸ اینچ، حدود ۸۰ درصد، از دیواره گمانه را پوشش دهد (Folkestad et al., ۲۰۱۲). تصاویر جهت‌دار حاصل از FMI دارای وضوح عمودی تا ۵ میلی‌متر (۰٫۲ اینچ) هستند (Wilson et al., ۲۰۱۳) (جدول۱، شکل۲).

ابزار تصویربرداری FMI-HD (Fullbore Formation MicroImager – High Definition) نسخه‌ای بهبودیافته از ابزار FMI است که توسط شرکت Schlumberger توسعه یافته و با هدف افزایش قابلیت اطمینان و ارائه تصاویر با وضوح بالا طراحی شده است(Lai et al., ۲۰۱۵) (جدول۱، شکل۲). در ابزار FMI-HD از الکترونیک بازطراحی‌شده و روش‌های نوین پردازش سیگنال استفاده شده است تا نسبت سیگنال به نویز بهبود یابد و تبدیل آنالوگ به دیجیتال با سرعت بیشتری انجام شود(Lai et al., ۲۰۱۷).

ابزار OBMI (Oil Based Mud MicroImager) شرکت Schlumberger، ابزاری است که برای استفاده در گل‌های حفاری پایه‌نفتی طراحی شده و مقاومت ناحیه نفوذپذیر شده (Rxo) را از چهار جهت دیواره گمانه با وضوح عمودی ۰٫۴ اینچ و عمق نفوذ ۳٫۵ اینچ اندازه‌گیری می‌کند (Zohreh et al., ۲۰۱۴). این ابزار دارای چهار پد است که هر یک شامل پنج جفت الکترود بوده و در مجموع ۵ دکمه الکترودی روی هر پد قرار دارد (جدول ۱). تعداد حسگرهای به‌کار رفته در OBMI نسبت به ابزار FMI به‌مراتب کمتر است، که این موضوع منجر به کاهش وضوح تصویر و پوشش دیواره گمانه می‌شود. پوشش تصویری این ابزار تنها حدود ۳۲درصد از دیواره گمانه ۸ اینچی را در بر می‌گیرد(Collett et al., ۲۰۱۱) (جدول۱، شکل۲).

ابزار لاگ‌برداری تصویری (Earth Imager (EI از شرکت Baker Hughes، که نسخه بهبودیافته‌ای از ابزار STAR-II شرکت Atlas به شمار می‌رود، از ۶ پد تشکیل شده که هر پد شامل ۲۴ حسگر دکمه‌ای است (جدول ۱). ابزار تصویربرداری میکرومقاومت EI عملکردی مشابه ابزار FMI دارد، اما به‌طور خاص برای کار در گل‌های حفاری غیررسانا (پایه‌نفتی) طراحی شده است. در طول لاگ‌برداری، این ابزار با ایجاد اختلاف پتانسیل بین گارد (Guard) و واحد الکترونیکی، جریان را وادار به بازگشت به سیستم الکترونیکی می‌کند؛ چرا که جریان استفاده‌شده، یک جریان متناوب با فرکانس پایین است. ابزار Earth Imager دارای وضوح عمودی ۰٫۳ اینچ است و در یک گمانه ۸ اینچی، حدود ۶۳ درصد از دیواره گمانه را پوشش می‌دهد(جدول۱، شکل۲).

Imaging tools	Halliburton	Schlumberger			Baker Hughes	
	XRMI(EMI)	FMS	FMI	OBMI	EI	STAR-II
Minimum hole size (in)	6.25	4.5	6.25	6	6	6.5
Maximum hole size (in)	21	15	21	21	21	16
Maximum pressure (psi)	20000	20000	20000	20000	20000	20000
Maximum Temperature (° F)	350	350	350	350	350	350
Logging speed (ft/h)	1800	1800	1800	1200	1200	1200
Number of Pads	6	4	8	6	6	6
Number of electrodes	150	96	192	48	144	144
Vertical resolution (in)	0.2	0.2	0.4	0.4	0.3	0.2
Coverage (8.0in)	60%	40%	32%	32%	60%	60%

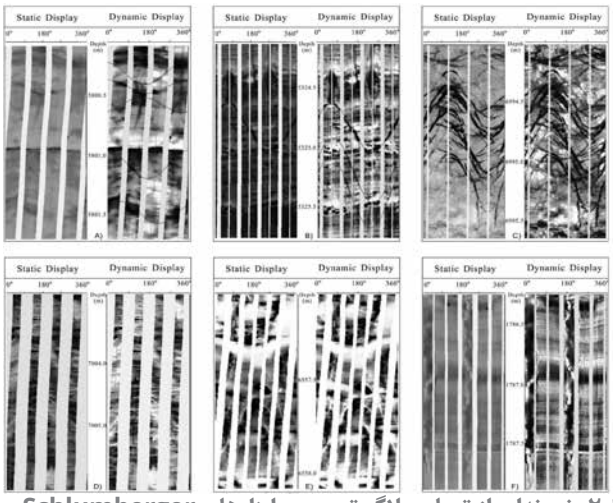
جدول۱- مقایسه پارامترهای ابزارهای مختلف تصویربرداری چاه‌نگاری

ابزار EMI/XRMI (Extended Range Micro Imager) شرکت Halliburton شامل ۱۵۰ میکروالکترود است که بر روی ۶ پد با فاصله ۶۰ درجه از یکدیگر قرار گرفته‌اند (Awdal et al., ۲۰۱۶)، جدول ۱؛ در هنگام لاگ‌برداری، این ۱۵۰ الکترود تحت یک پتانسیل الکتریکی ثابت به دیواره گمانه فشرده می‌شوند و به‌صورت مشابه با دیگر ابزارهای تصویری، ۱۵۰ منحنی میکرومقاومت‌ویژه به‌دست می‌آید که با استفاده از تضادهای مقاومتی، تصویر رنگی دیواره گمانه بازسازی می‌شود (جدول۱، شکل۲). قطر هر الکترود در ابزار XRMI برابر با ۰٫۵ سانتی‌متر و فاصله بین الکترودها ۰٫۲۵ سانتی‌متر است (Nie et al., ۲۰۱۳).

شکل ۲، نمونه‌هایی از تصاویر معمول دیواره گمانه را به‌ترتیب برای ابزارهای OBMI، FMI-HD، FMI، FMS از شرکت Schlumberger، ابزار EI از شرکت Baker Hughes، و ابزارهای XRMI یا EMI از شرکت Halliburton نمایش می‌دهد. نوارهای عمودی خالی در این تصاویر، مناطقی از دیواره گمانه را نشان می‌دهند که توسط ابزار پوشش داده نشده‌اند(Brekke et al., ۲۰۱۷) . خط سبز عمودی نشان‌دهنده آزیموت پد شماره ۱ است. نمای استاندارد دوبعدی لاگ تصویری، پوشش حاصل از تمامی شش یا هشت پد ابزار را نمایش

می‌دهد. صفحات زمین‌شناسی نظیر گسل‌ها، سطوح فرسایشی و لایه‌بندی‌های مورب، در این تصاویر به‌شکل امواج سینوسی ظاهر می‌شوند، که کمترین نقاط و دامنه این امواج سینوسی به‌ترتیب نمایانگر جهت شیب و مقدار آن نسبت به محور گمانه هستند (Folkestad et al., ۲۰۱۲). برای مثال، شکستگی‌ها معمولاً به‌صورت امواج سینوسی تیره‌رنگ قابل شناسایی هستند؛ در این حالت، پایین‌ترین نقطه موج سینوسی جهت شیب شکستگی را نشان می‌دهد و دامنه موج بیانگر میزان شیب آن است (Keeton et al., ۲۰۱۵) (شکل۲). طیف رنگی در تصاویر لاگ از سفید و زرد تا قهوه‌ای و مشکی متغیر است؛ به‌طوری‌که مقاومت الکتریکی بیشتر با رنگ‌های روشن‌تر و مقاومت کمتر با رنگ‌های تیره‌تر نمایش داده می‌شود (Folkestad et al., ۲۰۱۲).

در تصاویر با نرمال‌سازی ایستا (Static Normalization) ، این طیف رنگی بر اساس کل بازه لاگ‌برداری شده تنظیم می‌شود. در مقابل، در نرمال‌سازی پویا (Dynamic Normalization)، رنگ‌ها بر اساس یک پنجره لغزان به طول حدود ۶۱ سانتی‌متر تنظیم می‌گردند، تا جزئیات کوچک در مقیاس عمودی بهتر و واضح‌تر نمایان شوند (Donselaar and Schmidt, ۲۰۰۵; Wilson et al., ۲۰۱۳). در نهایت، تصویر استوانه‌ای دیواره گمانه طوری نمایش داده می‌شود که گویی از سمت شمال (۰ درجه) باز شده باشد و جهت‌گیری تصویر به‌صورت شمال-شرق-جنوب-غرب-شمال از ۰ تا ۳۶۰ درجه مشخص می‌گردد (Keeton et al., ۲۰۱۵) (شکل ۲). پس از دریافت و بارگذاری ، اطلاعات خام لاگ‌های تصویری باید تحت کنترل کیفیت قرار گیرند و اصلاح شوند. روال معمول پیش‌پردازش داده‌های لاگ تصویری شامل اصلاح سرعت، اصلاح خروج از مرکز و نرمال‌سازی است. که در این میان، مهم‌ترین مراحل، اصلاح سرعت/عمق و تعیین جهت تصویر با استفاده از داده‌های شتاب‌سنج و مغناطیس‌سنج با وضوح بالا هستند (Wilson et al., ۲۰۱۳).



شکل۲- نمونه‌ای از تصاویر لاگ تصویری ابزارهای Schlumberger شامل OBMI، FMI-HD، FMI، FMS، و ابزارهای Baker Hughes مانند EI و همچنین ابزارهای XRMI یا EMI متعلق به Halliburton، از چپ به راست: تصویر لاگ نرمال‌شده ایستا؛ عمق به متر؛ و تصویر لاگ نرمال‌شده دینامیکی همراه با ردیابی دستی موج‌های سینوسی (خطوط بنفش). A .ابزار FMS از شرکت Schlumberger، B . ابزار FMI از شرکت Schlumberger، C . ابزار FMI-HD از شرکت Schlumberger، D .ابزار OBMI از شرکت Schlumberger، E .ابزار EI از شرکت Baker Hughes، F .ابزار XRMI از شرکت Halliburton.

تفسیر شکستگی‌ها و تنش‌های برجا

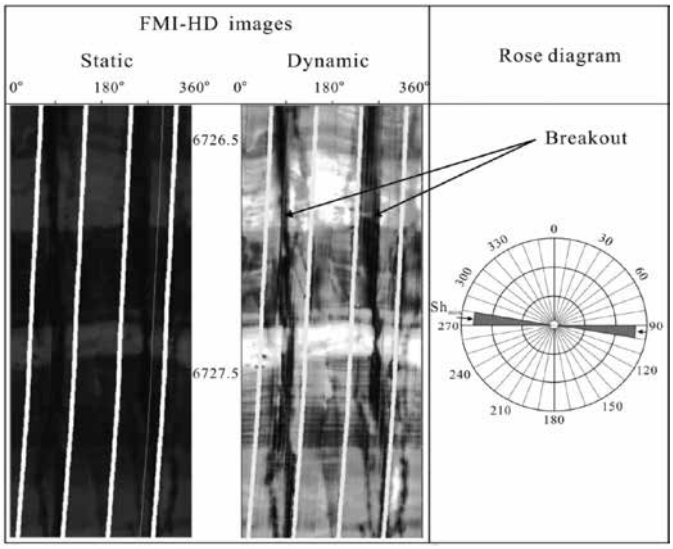
ساختارهای شکستگی که از لاگ‌های تصویری تفسیر می‌شوند، به دو نوع اصلی تقسیم می‌گردند: شکستگی‌های طبیعی و شکستگی‌های القایی(Lai et al., ۲۰۱۷). شناسایی وضعیت تنش برجا و ویژگی‌های شکستگی‌های طبیعی، برای ارزیابی نرخ تولید هیدروکربن اهمیت بالایی دارد (Ju et al., ۲۰۱۶). شکستگی‌های طبیعی به ترک‌هایی گفته می‌شود که پیش از حفاری و به طور طبیعی در سازند وجود داشته‌اند، در مقابل، شکستگی‌های القایی در حین عملیات حفاری و به‌عنوان پاسخی به تنش‌های ناشی از فرآیندهای مهندسی و یا به دلیل حضور خود چاه ایجاد می‌شوند، که روی دیواره چاه ظاهر می‌گردند (Massiot et al., ۲۰۱۵; Nian et al., ۲۰۱۶).

شکستگی‌های طبیعی پیرامون دیواره چاه تأثیر بسزایی بر عملکرد مخزن دارند و در نتیجه، بر تولید هیدروکربن نیز اثرگذارند(Zeng et al., ۲۰۱۳). شکستگی‌های باز طبیعی، در لاگ‌های تصویری چاه‌هایی که با گل پایه آبی حفاری شده‌اند، به‌صورت امواج سینوسی پیوسته و تیره‌رنگ نمایان می‌شوند. جهت‌یابی و مشخصات هندسی شکستگی‌ها (شامل امتداد، مقدار و جهت شیب) و وضعیت آن‌ها (باز، پر شده یا نیمه‌پر) را می‌توان با استفاده از لاگ‌های تصویری با وضوح بالا و جهت‌دار تعیین کرد (Barton and Zoback, ۲۰۰۲). توزیع شکستگی‌ها نیز با تلفیق داده‌های لاگ تصویری، مغزه‌ها و دیگر لاگ‌ها (نظیر لاگ کالیپر) و داده‌های لرزه‌ای قابل بررسی است. افزون بر شناسایی شهودی شکستگی‌ها، پارامترهایی نظیر تخلخل شکستگی، میزان بازشدگی (aperture) ، تراکم و طول شکستگی نیز به‌صورت کمی از طریق لاگ‌های تصویری قابل محاسبه هستند (Xu et al., ۲۰۱۶; Lai et al., ۲۰۱۷).

علاوه بر این، جهت‌گیری انواع مختلف شکستگی‌های القایی (شامل شکستگی‌های ناشی از حفاری و گسیختگی‌های دیواره چاه) که از طریق لاگ‌های تصویری قابل تفسیر هستند، می‌توانند برای تعیین جهت تنش‌های افقی برجا شامل تنش افقی بیشینه (SHmax) و تنش افقی کمینه(Shmin) مورد استفاده قرار گیرند (Kosari et al., ۲۰۱۵; Nian et al., ۲۰۱۶). تعیین جهت دقیق تنش‌های افقی برجا برای پایداری دیواره چاه، بهینه‌سازی روش‌های ازدیاد برداشت و مدیریت مخزن از اهمیت بالایی برخوردار است (Yeltsov et al., ۲۰۱۴; Nian et al., ۲۰۱۶).

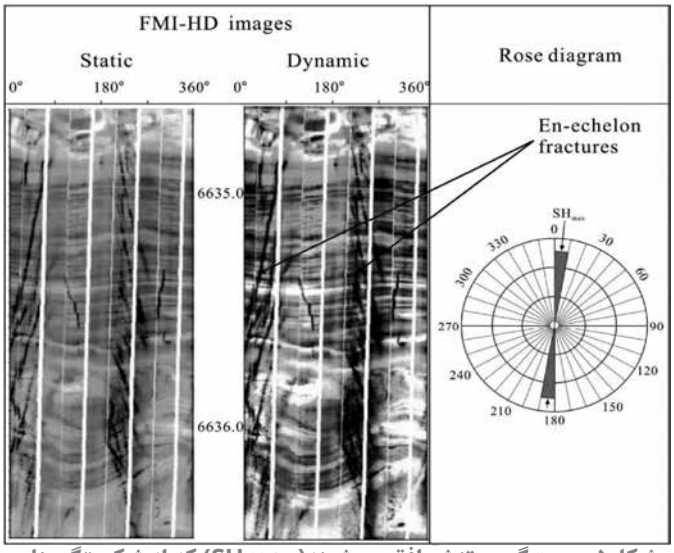
تنش‌های برجا (In-situ stresses) به عنوان تنش‌های طبیعی امروزی در پوسته زمین تعریف می‌شوند و ارتباط نزدیکی با تنش‌های تکتونیکی دارند. درک دقیق این تنش‌ها برای طراحی حفاری ایمن، مدیریت شکست هیدرولیکی، جلوگیری از ناپایداری چاه و بهینه‌سازی تولید از مخزن ضروری است. این تنش‌ها معمولاً از طریق تحلیل لاگ‌های تصویری، گسیختگی‌های دیواره چاه، شکستگی‌های القایی، آزمون‌های فشار و مدل‌سازی ژئومکانیکی به‌دست می‌آیند. جهت‌گیری این تنش‌ها را می‌توان از شکستگی‌های القایی تفسیرشده در لاگ‌های تصویری استخراج کرد (Ameen and Hailwood, ۲۰۰۸; Ju et al., ۲۰۱۷). در چارچوب لاگ‌های تصویری، شکستگی‌های ناشی از تنش به دو نوع اصلی تقسیم می‌شوند که شامل شکستگی‌های القاشده از حفاری و فروریزش‌های دیواره چاه هستند. شکستگی‌های القایی ناشی از حفاری خود به دو نوع فرعی کششی و برشی تفکیک می‌شوند (Prioul et al., ۲۰۰۷). در چاه‌های عمودی (با فرض اینکه یکی از تنش‌های اصلی در راستای قائم است)، جهت‌گیری فروریزش‌های دیواره چاه نشان‌دهنده جهت‌های تنش افقی کمینه (Shmin) است (Babcock, ۲۰۰۳; Massiot et al., ۲۰۱۵). در مقابل، شکستگی‌های ناشی از حفاری، شکستگی های باز از نوع کششی هستند که در راستای تنش افقی بیشینه (SHmax) ایجاد می‌شوند

(Rajabi et al., ۲۰۱۰; Wilson et al., ۲۰۱۵).
ریزش‌های دیواره چاه (Borehole breakouts) نواحی گسترش‌یافته‌ای از چاه هستند که در اثر شکست برشی فشاری ناشی از تمرکز تنش‌های برجا به وجود می‌آیند(Ameen, ۲۰۱۴; Nian et al., ۲۰۱۶). این ریزش‌ها زمانی رخ می‌دهند که تنش‌های متمرکزشده از مقاومت سنگ در اطراف دیواره چاه فراتر روند. با خمش لایه‌ها، تنش فشاری اصلی کمینه به‌تدریج منفی شده و به تنش کششی تبدیل می‌شود (Nian et al., ۲۰۱۷). در لاگ‌های تصویری، این ریزش‌ها به صورت نوارهای پهن، تیره و موازی که با زاویه ۱۸۰ درجه از یکدیگر جدا شده‌اند، قابل تشخیص‌اند (Rajabi et al., ۲۰۱۰). این نواحی با جهت گسترش قطرسنج (caliper) مطابقت دارند و نشان‌دهنده مقاطع عرضی بیضوی چاه و جهت تنش افقی بیشینه هستند (شکل۳).

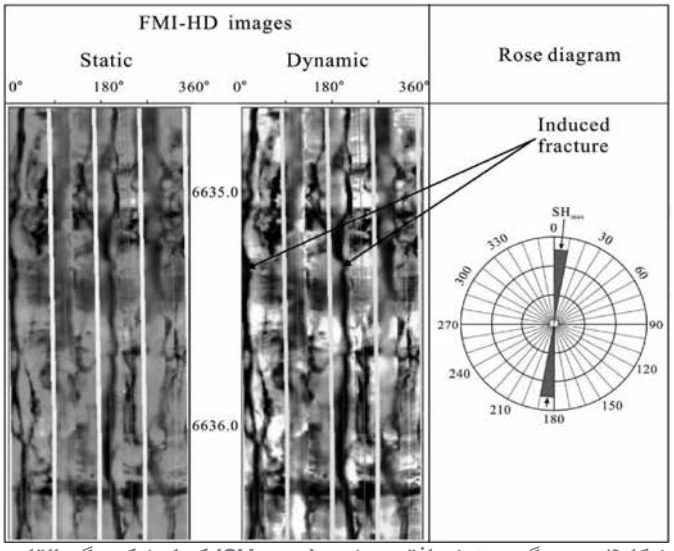


شکل۳- جهت‌گیری تنش افقی کمینه(SHmin) که از داده‌های مربوط به شکستگی دیواره چاه(Borehole Breakout) استنتاج شده است.

شکستگی‌های کششی القاشده ناشی از حفاری (Drilling Induced Tensile Fractures) به شکستگی‌هایی گفته می‌شود که به‌صورت متقارن و با ویژگی‌هایی باریک و مشخص ظاهر می‌شوند (Brudy and Zoback, ۱۹۹۹; Nian et al., ۲۰۱۶). این شکستگی‌ها در لاگ‌های تصویری به‌صورت دو شکست عمودی که با زاویه ۱۸۰ درجه نسبت به یکدیگر قرار دارند، قابل شناسایی‌اند و معمولاً با زاویه‌ای حدود ۹۰ درجه نسبت به جهت شکستگی‌های ناشی از ریزش دیواره چاه (breakouts) ظاهر می‌شوند (شکل۴). این شکستگی‌ها نشان‌دهنده جهت تنش افقی بیشینه هستند (شکل۴). شکستگی‌های برشی القاشده ناشی از حفاری (Drilling Induced Shear Fractures)، به‌صورت شکستگی‌های نردبانی(en-echelon) در اطراف چاه ظاهر می‌شوند. این شکستگی‌ها در سطح دیواره چاه دارای جفت اثرهایی با اختلاف زاویه ۱۸۰ درجه‌اند و نسبت به محور چاه دارای شیب هستند (Nian et al., ۲۰۱۶) (شکل۵).



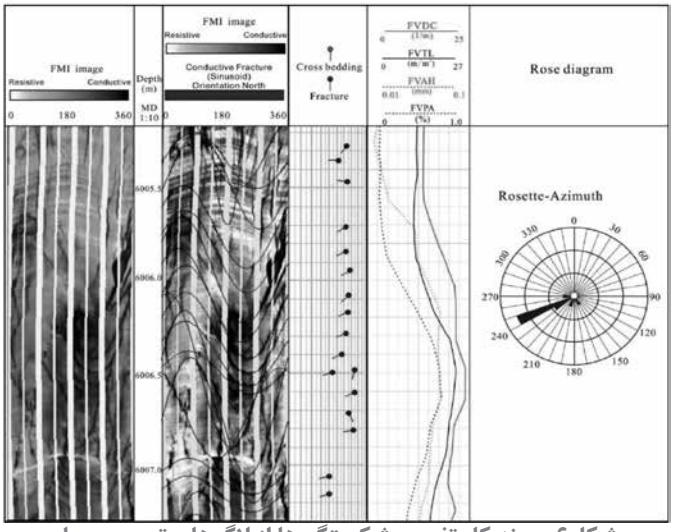
شکل۵- جهت‌گیری تنش افقی بیشینه(SHmax) که از شکستگی‌های نردبانی (en-echelon) استنتاج شده است



شکل۴- جهت‌گیری تنش افقی بیشینه(SHmax) که از شکستگی القایی استنتاج شده است

تفسیر شکستگی‌ها بر پایه داده‌های لاگ تصویری (Image Log)

همانطور که می‌دانیم شکستگی‌های طبیعی به‌عنوان مسیرهای جریان سیال، نقش کلیدی در تولید هیدروکربن ایفا می‌کنند(Khoshbakht et al., ۲۰۰۹) ، چرا که با افزایش نفوذپذیری مخزن، شرایط بهتری را برای مهاجرت و انباشت سیالات هیدروکربنی فراهم می‌سازند(Lyu et al., ۲۰۱۷) . شناسایی و تحلیل ویژگی‌های شکستگی‌های طبیعی با استفاده از لاگ‌های چاهی، تأثیر مستقیم بر فرآیندهای اکتشاف،



شکل۶- روند کار تفسیر شکستگی‌ها از لاگ‌های تصویری چاه

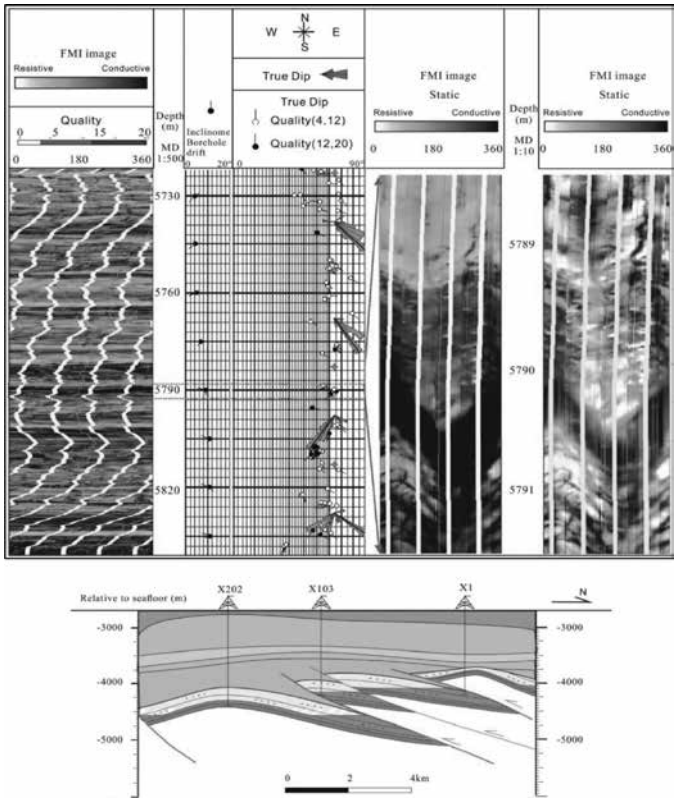
بهره‌برداری و توسعه میادین نفت و گاز دارد؛ زیرا شکستگی‌ها ساختار کلی نفوذپذیری و الگوی جریان سیالات در مخزن را کنترل می‌کنند(Kosari et al., ۲۰۱۵; Lyu et al., ۲۰۱۶; Lai et al., ۲۰۱۷) . ابزارهای تصویربرداری الکتریکی که مبتنی بر اسکن مقاومتی دیواره چاه عمل می‌کنند، ابزار مؤثری برای تحلیل هندسه شکستگی‌ها (شامل امتداد، شیب و نوع شکستگی) و نیز تعیین کمی پارامترهای شکستگی نظیر تخلخل شکستگی، بازشدگی(aperture) و وضعیت باز یا بسته بودن آن‌ها محسوب می‌شوند (Lai et al., ۲۰۱۷; Liu et al., ۲۰۱۸) (شکل۶).

محاسبه پارامترهای شکستگی

تفاوت مقاومت ویژه بین گل حفاری و ماتریس سنگ برای ارزیابی پارامترهای شکستگی مانند بازشدگی شکستگی مورد استفاده قرار می‌گیرد، که می‌تواند با پارامتر بازشدگی شکستگی‌ها در مغزه‌ها کالیبره شود (Zeng et al., ۲۰۱۳; Qu et al., ۲۰۱۶). تعیین ویژگی‌های هندسی شکستگی‌ها مانند نوع، جهت شیب، زاویه شیب، فراوانی، طول شکستگی (FVTL)، بازشدگی شکستگی(FVA) ، چگالی شکستگی(FVDC) و تخلخل شکستگی(FVPA) در صنایع نفت برای اکتشاف، تولید و توسعه مخازن هیدروکربنی بسیار حائز اهمیت است. طول شکستگی به‌عنوان مجموع طول شکستگی‌ها در یک واحد سطح از جداره چاه تعریف می‌شود. بازشدگی شکستگی به عرض بخش باز یک شکستگی گفته می‌شود که به‌صورت عمود بر دیواره‌های شکستگی اندازه‌گیری می‌شود (Ameen et al., ۲۰۱۲). بازشدگی شکستگی یکی از پارامترهای کلیدی برای برآورد تراوایی شکستگی به‌شمار می‌رود. تراوایی شکستگی با توان سوم بازشدگی شکستگی متناسب است و بازشدگی هیدرولیکی شکستگی را می‌توان با استفاده از محاسبات جریان سیال بر مبنای قانون مکعبی برآورد کرد (Wilson et al., ۲۰۱۵). معمولاً بازشدگی‌های هیدرولیکی بیشتر از بازشدگی‌های الکتریکی هستند (Silliman, ۱۹۸۹). بازشدگی‌های هیدرولیکی شکستگی تحت شرایط مخزنی بر تراوایی مؤثر و تخلخل آن‌ها تأثیرگذارند. انتقال سیالات از طریق شکستگی‌ها به بازشدگی شکستگی، تنش، سطح تماس، و زبری سطوح تماس‌یافته بستگی دارد و تغییرات در بازشدگی شکستگی موجب تغییرات چشمگیر در توان بالقوه بهره‌برداری از چاه می‌شود، بنابراین تعیین دقیق بازشدگی شکستگی در مخازن هیدروکربنی بسیار حائز اهمیت است (Ponziani et al., ۲۰۱۵). تراوایی مؤثر شکستگی همچنین به طول و پیوستگی شکستگی‌ها نیز وابسته است (Laubach, ۲۰۰۳). تخلخل شکستگی را می‌توان با استفاده از اسکن‌های الکتریکی دیواره چاه و معادلات ریاضی محاسبه کرد. تراکم شکستگی (FVDC) به‌صورت تعداد شکستگی‌ها در واحد طول در جهت عمود بر صفحات شکستگی (تراکم خطی)، یا مجموع طول اثر شکستگی‌ها در واحد سطح و یا مجموع مساحت شکستگی‌ها در واحد حجم (تراکم شکستگی سه‌بعدی) تعریف می‌شود. شدت شکستگی، که کمیتی اندازه‌محور برای سنجش فراوانی شکستگی‌ها محسوب می‌شود، یکی از ویژگی‌های مهم سامانه‌های شکستگی است و به‌صورت معکوس فاصله شکستگی تعریف می‌شود (Zeng et al., ۲۰۱۲).

تحلیل شیب ساختاری

تحلیل زوایای مهم ساختارها شامل مقدار شیب و جهت شیب را می‌توان از طریق تعیین جهت‌گیری لایه‌های رسوبی(bedding planes) به‌دست آورد (Maliva et al., ۲۰۰۹). این زوایای شیب از طریق همبستگی میان منحنی‌های مقاومت ویژه در لاگ‌های تصویری قابل محاسبه هستند (Moreau and Joubert, ۲۰۱۶). با برازش



شکل۷- تحلیل شیب ساختاری با استفاده از نگاشت‌های تصویری چاه و مقطع عرضی

منحنی‌های سینوسی پنهان (blind sinusoidal curves) به لایه‌هایی با مقاومت ویژه مشابه روی تصاویر بازشده دیواره چاه و با استفاده از نرم‌افزارها می‌توان مقدار واقعی زاویه شیب و ویژگی‌های ساختاری را تعیین کرد. سپس با تحلیل الگوهای شیب‌سنج (dipmeter) در تصاویر دیواره چاه، تحلیل شیب ساختاری انجام می‌شود (Brekke et al., ۲۰۱۷) (شکل۷).

این مرور به‌طور جامع به بررسی کاربردهای لاگ‌های تصویری الکتریکی برای تفسیر ویژگی‌های مخازن رسوبی پرداخته است. لاگ‌های تصویری با وضوح بالا و دارای جهت‌گیری مشخص می‌توانند برای تصحیح عمق و جهت مغزه‌ها با استفاده از ویژگی‌های رسوبی و ساختاری مانند بافت دانه‌ای، دگرشکلی، تقاطع لایه‌ها، و شکستگی‌ها به‌کار روند و بدین ترتیب، عدم قطعیت در تفسیر این ویژگی‌ها کاهش یابد. لاگ‌های تصویری، ثبت پیوسته‌ای از دیواره چاه ارائه می‌دهند و اطلاعاتی در مورد لیتولوژی، بافت رسوبی و مدل‌های رخساره‌ای تصویری فراهم می‌کنند که با کالیبراسیون آن‌ها با مغزه‌ها و لاگ‌های متداول می‌توان راهنمای مناسبی برای تفسیر رخساره‌ها و ساختارهای نهشته‌ای در واحدهای فاقد مغزه به‌دست آورد. جهت‌گیری شکستگی‌های القایی مانند شکستگی‌های ناشی از حفاری و شکستگی‌های دیواره چاه را می‌توان مستقیماً از لاگ‌های تصویری استخراج کرد که این امر به تعیین جهت تنش‌های برجا کمک می‌کند. همچنین وضعیت و مشخصات هندسی شکستگی‌ها شامل (امتداد، مقدار و جهت شیب) و نیز حالت آن‌ها (باز، پرشده یا نیمه‌پر) را می‌توان از طریق لاگ‌های تصویری و داده‌های مغزه بررسی کرد. پارامترهای شکستگی مانند تخلخل شکستگی، بازشدگی، چگالی و طول را نیز می‌توان به‌صورت کمی از روی لاگ‌های تصویری محاسبه کرد. از لاگ‌های تصویری همچنین می‌توان برای تحلیل شیب‌های ساختاری استفاده کرد و وضعیت لایه‌ها را تعیین نمود.

جلوگیری از ترک‌خوردگی استرس کلرید (Cl-SCC) با استفاده از پلیمرهای تقویت شده با الیاف (FRP)

دکتر سید احمد حسینی
رئیس هیئت مدیره شرکت توسعه و مهندسی صنایع کامپوزیت افق بهمرد ایرانیان

چکیده
ترک‌خوردگی استرس کلرید (Cl-SCC) یکی از مشکلات جدی و رایج در سازه‌های فلزی است که در محیط‌های خورنده و تحت تنش‌های مکانیکی رخ می‌دهد. این پدیده می‌تواند منجر به کاهش عمر مفید سازه‌ها، کاهش مقاومت مکانیکی و در نهایت شکست سازه شود. در این مقاله، به بررسی امکان استفاده از پلیمرهای تقویت‌شده با الیاف (FRPs) به‌عنوان یک روش مؤثر برای جلوگیری از وقوع ترک‌خوردگی استرس کلرید پرداخته شده است. ابتدا مکانیزم ایجاد Cl-SCC و عوامل مؤثر بر آن شامل حضور یون‌های کلرید، تنش‌های مکانیکی و شرایط محیطی بررسی می‌شود. سپس ویژگی‌های مکانیکی، شیمیایی و حرارتی پلیمرهای تقویت‌شده با الیاف و نقش آن‌ها در کاهش نفوذ یون‌های خورنده و توزیع یکنواخت تنش‌ها تحلیل می‌شود. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که استفاده از پوشش‌های FRP بر روی سازه‌های فلزی، علاوه بر ایجاد یک لایه محافظتی در برابر نفوذ عوامل خورنده، می‌تواند تنش‌های موجود در سطح سازه را کاهش داده و مقاومت آن را در برابر Cl-SCC به میزان قابل‌توجهی افزایش دهد. این روش به‌عنوان یک راهکار پایدار و اقتصادی برای بهبود دوام سازه‌های فلزی در محیط‌های خورنده پیشنهاد شده است.

۱.مقدمه
ترک‌خوردگی استرس کلرید (Cl-SCC) یکی از جدی‌ترین معضلاتی است که در سازه‌های فلزی به‌ویژه در محیط‌های حاوی یون‌های کلرید رخ می‌دهد. این پدیده که به‌عنوان یکی از انواع شکست‌های محیطی شناخته می‌شود، اغلب به دلیل تنش‌های مکانیکی و شیمیایی هم‌زمان به وجود می‌آید. ترک‌خوردگی استرس کلرید می‌تواند تأثیرات مخربی بر دوام، ایمنی و عملکرد سازه‌های فلزی داشته باشد و منجر به کاهش عمر مفید این سازه‌ها شود. حضور یون‌های کلرید در محیط‌های صنعتی، دریایی و حتی در مناطق شهری که تحت تأثیر آلودگی قرار دارند، باعث تسریع این فرایند می‌شود. در این شرایط، سازه‌های فلزی تحت تأثیر ترکیبی از تنش‌های مکانیکی و واکنش‌های شیمیایی قرار می‌گیرند که در نهایت منجر به رشد ترک‌ها و شکست سازه می‌شود.

در دهه‌های اخیر، پژوهشگران به دنبال یافتن راه‌حل‌های نوآورانه برای مقابله با Cl-SCC بوده‌اند. یکی از این راهکارها استفاده از مواد کامپوزیتی مانند پلیمرهای تقویت شده با الیاف (FRP) است. این مواد به دلیل ویژگی‌های منحصر به‌فرد خود، از جمله مقاومت بالا در برابر خوردگی، وزن سبک، استحکام مکانیکی بالا و قابلیت‌های متنوع طراحی، به‌عنوان جایگزینی مناسب برای مواد سنتی در بسیاری از کاربردها شناخته شده‌اند. پلیمرهای تقویت شده با الیاف می‌توانند به‌عنوان یک لایه محافظتی عمل کرده و از تماس مستقیم فلز با عوامل خورنده جلوگیری کنند. همچنین، این مواد قادرند تنش‌های متمرکز را توزیع کرده و از گسترش ترک‌ها جلوگیری نمایند.
استفاده از FRP به‌ویژه در صنایع دریایی، نفت و گاز و زیرساخت‌های شهری مورد توجه قرار گرفته است. برای مثال، در سازه‌های دریایی که به‌طور مداوم در معرض آب‌های شور و تنش‌های دینامیکی قرار دارند، استفاده از پوشش‌های FRP می‌تواند به‌طور چشمگیری احتمال وقوع Cl-SCC را کاهش دهد. علاوه بر این، در خطوط انتقال نفت و گاز که در معرض ترکیبات خورنده قرار دارند، FRP می‌تواند به عنوان یک راهکار اقتصادی و پایدار برای افزایش عمر مفید تجهیزات به کار رود.
با وجود این مزایا، چالش‌هایی نیز در استفاده از FRP وجود دارد. یکی از این چالش‌ها، هزینه‌های اولیه بالای این مواد نسبت به پوشش‌های سنتی است. همچنین، طراحی و نصب صحیح این مواد برای اطمینان از عملکرد مطلوب آن‌ها نیازمند دانش فنی و تخصصی است. با این حال، با توجه به مزایای بلندمدت FRP در کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری و افزایش عمر سازه‌ها، این مواد به‌طور گسترده‌ای در حال جایگزینی با روش‌های سنتی هستند.
این مقاله به بررسی جامع مکانیزم‌های ترک‌خوردگی استرس کلرید و نقش FRP در جلوگیری از آن پرداخته و به مقایسه عملکرد این مواد با سایر روش‌های محافظتی می‌پردازد. هدف اصلی ارائه یک راهکار مؤثر و اقتصادی برای افزایش دوام سازه‌های فلزی در محیط‌های خورنده است.

۲.مکانیزم Cl-SCC
Cl-SCC نتیجه تعامل پیچیده بین تنش‌های مکانیکی و محیط خورنده شامل یون‌های کلرید است. این پدیده معمولاً در فلزات و آلیاژهایی رخ می‌دهد که در محیط‌های حاوی کلرید تحت تنش مکانیکی قرار دارند. این مکانیزم در سه مرحله اصلی قابل توصیف است:

جذب یون کلرید (Chloride Ion Adsorption)

در این مرحله، یون‌های کلرید (−Cl) به سطح فلز یا آلیاژ نفوذ کرده و جذب می‌شوند. یون‌های کلرید بسیار کوچک و متحرک هستند و توانایی نفوذ به سطوح اکسید محافظ فلز را دارند. این نفوذ باعث تخریب لایه اکسیدی محافظ مانند ۳Fe۲O۳ یا ۳Cr۲O می‌شود. نتیجه این تخریب، در معرض قرار گرفتن سطح فلزی پایه است که مستعد واکنش‌های خوردگی است.

۱. تخریب لایه اکسیدی:

$$3H_2O + {}_3{}^2FeCl \rightarrow {}^+6H + {}^-6Cl + {}_3Fe_2O$$

۲. تولید یون‌های فلزی قابل حل:

$$^-3Cl + {}^{+3}Fe \rightarrow {}_3FeCl$$

نتیجه: سطح فلز آسیب‌پذیر می‌شود و محیط برای نفوذ و تأثیرگذاری تنش‌های مکانیکی آماده می‌گردد.

تشکیل ترک (Crack Initiation)

تنش‌های مکانیکی که می‌توانند ناشی از بارگذاری خارجی، تنش‌های داخلی یا انبساط حرارتی باشند، موجب افزایش تمرکز تنش در نقاط ضعف ساختاری (مانند ناخالصی‌ها، حفره‌ها یا ناپیوستگی‌ها) می‌شوند. در این نقاط، یون‌های کلرید تجمع کرده و باعث تسریع واکنش‌های موضعی خوردگی می‌شوند. این امر منجر به تضعیف موضعی سطح فلز و در نهایت تشکیل ترک‌های اولیه می‌گردد.

۱. اکسیداسیون فلز در سطح ترک:

$$^-2e + {}^{+2}Fe \rightarrow Fe$$

۲. واکنش با اکسیژن محلول:

$$2H_2O \rightarrow {}^-4e + {}^+4H + {}_2O$$

نتیجه: تنش‌های مکانیکی و خوردگی موضعی هم‌افزایی کرده و ترک‌های اولیه شکل می‌گیرند.

گسترش ترک (Crack Propagation)

در این مرحله، ترک‌های اولیه تحت تأثیر هم‌زمان تنش مکانیکی و خوردگی شیمیایی گسترش می‌یابند. یون‌های کلرید با نفوذ بیشتر به ترک‌ها، واکنش‌های خوردگی را تشدید می‌کنند. فلز پایه به‌صورت پیوسته اکسید شده و محصولات خوردگی مانند ۳FeCl تولید می‌شود که خود به گسترش ترک کمک می‌کند.

فرمول شیمیایی:

۱. انحلال فلز در محلول ترک:

$${}_2FeCl \rightarrow {}^-2Cl + {}^{+2}Fe$$

۲. هیدرولیز محصولات خوردگی:

$$HCl + Fe(OH)Cl \rightarrow H_2O + {}_2FeCl$$

نتیجه: تشکیل HCl باعث کاهش موضعی pH و افزایش شدت خوردگی می‌شود، که ترک را عمیق‌تر و گسترده‌تر می‌کند.

در نتیجهCl-SCC یک فرآیند پیچیده است که نیازمند وجود سه عامل اصلی است:

• حضور یون‌های کلرید برای تخریب لایه محافظ.

• وجود تنش‌های مکانیکی برای تمرکز تنش و تشکیل ترک.

• شرایط محیطی که واکنش‌های خوردگی را تسریع کند.

پیشگیری از این پدیده معمولاً با استفاده از پوشش‌های محافظ، کاهش تنش‌های مکانیکی و کنترل شرایط محیطی مانند کاهش غلظت کلرید یا افزایش pH انجام می‌شود.

۳.پلیمرهای تقویت‌شده با الیاف (Fiber Reinforced Polymers - FRPs)

پلیمرهای تقویت‌شده با الیاف (FRPs) از ترکیب یک ماتریس پلیمری و الیاف تقویت‌کننده تشکیل شده‌اند. این مواد مهندسی به دلیل خواص برجسته‌ای مانند مقاومت بالا در برابر خوردگی، وزن کم و انعطاف‌پذیری، به‌طور گسترده‌ای در صنایع مختلف مانند نفت، گاز، پتروشیمی، هوافضا، خودرو، ساختمان‌سازی، و صنایع دریایی استفاده می‌شوند.

ساختار FRP

ماتریس پلیمری

ماتریس پلیمری، بخش پیوسته FRP است که به‌عنوان فاز زمینه عمل می‌کند. وظیفه اصلی ماتریس:

• نگه‌داشتن الیاف در جای خود.

• انتقال تنش به الیاف.

• حفاظت از الیاف در برابر عوامل محیطی.

انواع ماتریس‌های پلیمری:

• رزین‌های ترموست مانند اپوکسی (5C21H-25ClO)، پلی‌استر و وینیل‌استر.

• رزین‌های ترموپلاستیک مانند پلی‌اتیلن (4C2H) و پلی‌پروپیلن (6C3H).

الیاف تقویت‌کننده

الیاف، فاز تقویت‌کننده هستند که وظیفه اصلی آن‌ها بهبود خواص مکانیکی مانند استحکام و مدول کشسانی است.

انواع الیاف تقویت‌کننده:

• الیاف شیشه (Glass Fibers) :

ترکیبات اصلی: سیلیکات‌ها مانند 2SiO، 3Al2O، CaO

• الیاف کربن (Carbon Fibers) :

ترکیب اصلی: کربن خالص به فرم گرافیت.

• الیاف آرامید (Aramid Fibers) :

ترکیب اصلی: پلی‌آمیدهای معطر 2C14H-10N2O

ویژگی‌های کلیدی FRP

مقاومت بالا در برابر خوردگی

FRP به دلیل وجود ماتریس پلیمری، مقاومت بسیار بالایی در برابر عوامل خورنده مانند رطوبت، اسیدها، بازها، و نمک‌ها دارند. برای مثال:

• الیاف شیشه: مقاومت شیمیایی بالایی در محیط‌های اسیدی و قلیایی دارند.

• رزین‌های اپوکسی: مقاومت در برابر حملات شیمیایی و نفوذپذیری کم به بخار آب.

وزن کم

چگالی FRP معمولاً در محدوده 1.5 3g/cm تا 2.0 3g/cm است که به‌مراتب کمتر از فلزاتی مانند آلومینیوم (2.7 3g/cm) و فولاد (7.8 3g/cm) است.

انعطاف‌پذیری بالا

ماتریس‌های پلیمری امکان طراحی ساختارهایی با اشکال پیچیده و قابلیت تحمل تغییرشکل بالا را فراهم می‌کنند.

فرمول شیمیایی برخی رزین‌های پلیمری رایج

۱. رزین اپوکسی:

ساختار پایه اپوکسی از واحدهای بیسفنول A و اپی‌کلروهیدرین تشکیل شده است: 5C21H25ClO

۲. رزین پلی‌استر:

پلی‌استرها از واکنش بین اسیدهای آلی مانند اسید مالئیک (4C4H4O) و الکل‌هایی مانند گلیسرول (3C3H8O) تولید می‌شوند.

$$CH_2OH - CH(OH) - {}_2CH - HO + COOH - {}_2C_2H - HOOC$$

جدول مشخصات فیزیکی و شیمیایی رایج FRP

ویژگی	الیاف شیشه(Glass Fiber)	الیاف کربن(Carbon Fiber)	الیاف آرامید(Aramid Fiber)
چگالی(g/cm^3)	2.5	1.8	1.4
مدول کشسانی(GPa)	70–85	200–700	70–130
مقاومت کششی(MPa)	2000–3000	3500–6000	3000–4000
مقاومت شیمیایی	بالا	متوسط	متوسط

۴.روش‌شناسی تحقیق و تحلیل نتایج

آماده‌سازی نمونه‌ها

توضیحات علمی و فنی:

نمونه‌های FRP با استفاده از ماتریس اپوکسی (5C21H25ClO) و سه نوع الیاف (شیشه، کربن، و آرامید) تهیه شدند. این نمونه‌ها به‌منظور مقایسه، در کنار نمونه‌های فولادی از جنس فولاد کربنی (AISI 1020) و آلیاژ آلومینیوم (AA6061) که مستعد ترک‌خوردگی

کلرید هستند، آزمایش شدند.

فرآیند تولید نمونه‌های FRP:

۱. ماتریس: رزین اپوکسی با عامل پخت پلی‌آمین (2NH – n(2CH) – H2N) مخلوط شد و در دمای C°25 به‌مدت 15 min آماده شد.

۲. الیاف تقویت‌کننده:

o الیاف شیشه (2SiO)

o الیاف کربن (کربن گرافیتی، خالص)

o الیاف آرامید (2C14H10N2O)

الیاف به‌صورت لایه‌ای در ماتریس قرار داده شده و تحت فشار ۰٫۵ MPa فشرده شدند.

۳. فرایند پخت: نمونه‌ها به‌مدت 4h در دمای C°80 و سپس C°120 به‌مدت 2h پخت شدند.

مشخصات اولیه نمونه‌ها:

نوع نمونه	نوع الیاف	چگالی(g/cm^3)	مدول کشسانی(GPa)	مقاومت کششی(MPa)
FRP-Glass	شیشه	2.0	70	2500
FRP-Carbon	کربن	1.8	200	3500
FRP-Aramid	آرامید	1.4	120	3000
AISI 1020	فولاد کربنی	7.8	200	400
AA6061	آلومینیوم	2.7	70	300

آزمون‌های مکانیکی

آزمون کشش (Tensile Test):

• نمونه‌ها تحت نرخ کرنش ثابت 0.5 mm/min در دستگاه تست کشش قرار گرفتند.

• تنش (σ) از فرمول زیر محاسبه شد:

$$\frac{F}{A} = \sigma$$

که در آن:

F: نیروی وارد شده (N)

A: سطح مقطع نمونه (2mm)

نتایج کشش:

نوع نمونه	حداکثر تنش(MPa)	حداکثر کرنش(%)	مدول کشسانی(GPa)
FRP-Glass	250	2.5	70
FRP-Carbon	350	1.8	200
FRP-Aramid	300	2.2	120
AISI 1020	400	0.5	200
AA6061	300	0.7	70

آزمون‌های خوردگی

توضیحات علمی و فنی:

نمونه‌ها به‌مدت 200h در محلول NaCl 3.5% در دمای C°25 غوطه‌ور شدند. رفتار الکتروشیمیایی نمونه‌ها و تغییرات مکانیکی آن‌ها پس از آزمایش بررسی شد.

واکنش‌های شیمیایی در خوردگی:

۱. انحلال آهن در فولاد:

$$^{-}2e + {}^{+2}Fe \rightarrow Fe$$

۲. تشکیل رسوب کلرید آهن:

$$_2FeCl \rightarrow {}^{-}2Cl + {}^{+2}Fe$$

۳. خوردگی آلومینیوم:

$$^{-}Cl + {}_2H + {}_3Al(OH) \rightarrow {}^{-}Cl + 3H_2O + Al$$

مشاهدات میکروسکوپی (SEM):

• الیاف شیشه و آرامید ترک‌های موضعی نشان دادند، اما میزان نفوذ ترک در الیاف آرامید کمتر بود.

• فولاد کربنی و آلومینیوم، علائم شدیدتر خوردگی و حفره‌زایی داشتند.

۵. تحلیل عددی و نتیجه‌گیری

محاسبات نرخ خوردگی (CR):

برای محاسبه نرخ خوردگی (CR) از رابطه زیر استفاده شد:

$$\frac{K \cdot I_{corr} \cdot EW}{\rho \cdot A} = CR$$

که در آن:

• K=3.27×10−3

• corrI جریان خوردگی (2A/cm)

• EW وزن اکی‌والان (g/equiv)

• ρچگالی (3g/cm)

• A مساحت نمونه (2cm)

نتایج نرخ خوردگی:

نوع نمونه	نرخ خوردگی(mm/year)
FRP-Glass	0.02
FRP-Carbon	0.01
FRP-Aramid	0.015
AISI 1020	1.2
AA6061	0.8

نتیجه‌گیری:

۱. مکانیکی :FRP با الیاف کربن بالاترین مقاومت مکانیکی را دارد.

۲. خوردگی :مقاومت خوردگی FRPها بسیار بهتر از فلزات (فولاد و آلومینیوم) است.

۳. توصیه: استفاده از FRP-Carbon در محیط‌های حاوی یون کلرید پیشنهاد می‌شود. FRP-Aramid نیز به‌عنوان جایگزین با هزینه کمتر قابل‌بررسی است.

۶.نتایج و بحث

۱. کاهش سرعت گسترش ترک با استفاده از پوشش‌های FRP

پوشش‌های FRP نشان دادند که می‌توانند نقش مهمی در کاهش سرعت گسترش ترک ناشی از تنش‌های مکانیکی و خوردگی کلرید داشته باشند. داده‌های آزمایش‌های مکانیکی و خوردگی ارائه‌شده در بخش‌های قبل نشان‌دهنده این موضوع هستند.

تحلیل داده‌ها:

• گسترش ترک در مواد فلزی نظیر فولاد کربنی و آلیاژ آلومینیوم به‌دلیل خوردگی شدید و نرخ بالای نفوذ یون‌های کلرید بسیار سریع‌تر اتفاق افتاد. این گسترش به کاهش ضخامت مؤثر فلز و کاهش ظرفیت تحمل بار منجر شد.

• نمونه‌های FRP به‌ویژه با الیاف کربن و آرامید توانستند در برابر نفوذ کلرید و انتشار ترک مقاومت بهتری نشان دهند. این به‌دلیل خواص مکانیکی بالای الیاف و پایداری شیمیایی ماتریس اپوکسی است.

محاسبات مربوط به کاهش سرعت ترک:

نرخ گسترش ترک (da/dt) از رابطه پارامتر شدت تنش (K) محاسبه می‌شود:

$$^{m}(_{max}K) \cdot C = \frac{da}{dt}$$

که در آن:

• a طول ترک (mm)

• C ضریب مواد (تعیین‌شده از آزمایش)

• m پارامتر مواد

• maxK حداکثر شدت تنش در نوک ترک $(\sqrt{mm} \cdot MPa)$

مقایسه نمونه‌ها:

• برای فولاد کربنی (3=m, 10-5 = C):

$$mm/h\,0.01 = {}^{3}(10) \cdot {}^{5-}10 = \frac{da}{dt}$$

• برای FRP-C (الیاف کربن):

$$mm/h\,0.0001 = {}^{3}(10) \cdot {}^{7-}10 = \frac{da}{dt}$$

نتیجه‌گیری: نرخ گسترش ترک در فولاد کربنی ۱۰۰ برابر بیشتر از FRP-C است. این امر نشان‌دهنده تأثیر قابل‌توجه FRP در کاهش سرعت گسترش ترک‌ها است.

افزایش مقاومت مکانیکی

یکی از مهم‌ترین مزایای پوشش‌های FRP افزایش مقاومت مکانیکی مواد پایه است. در این مطالعه، مقاومت مکانیکی نمونه‌های پوشش‌داده‌شده با FRP با نمونه‌های فلزی (بدون پوشش) مقایسه شد.

تحلیل داده‌ها:

• FRP با الیاف کربن بالاترین مقاومت کششی (350MPa) و مدول کشسانی (200GPa) را ارائه داد.

• مقاومت کششی فولاد کربنی (400MPa) در شرایط غیرخورنده بیشتر است، اما پس از آزمایش خوردگی (200MPa) کاهش یافت.

• FRP-Glass و FRP-Aramid عملکرد مکانیکی قابل‌قبولی داشتند، اما به‌دلیل مقاومت کمتر الیاف شیشه در برابر تنش‌های کششی، عملکرد FRP-Glass در برابر ترک‌خوردگی کمی ضعیف‌تر بود.

محاسبات مقاومت نهایی کششی:

رابطه تنش نهایی ($f\sigma$) در مواد مرکب:

$$\frac{_f\sigma\,_mV_m + \sigma\,_fV}{_fV_m + V} = {}_f\sigma$$

که در آن:

• $f\sigma$ m, σ تنش ماتریس و الیاف

• fV m, V درصد حجمی ماتریس و الیاف

برای FRP-C با $V_f = 0.6$ و $\sigma_f = 350\ MPa$، $\sigma_m = 50\ MPa$:

$$\sigma_f = \frac{0.6 \cdot 350 + 0.4 \cdot 50}{0.6 + 0.4} = 230\ MPa$$

برای فولاد کربنی (پس از خوردگی):

$$\sigma_f = 200\ MPa$$

نتیجه‌گیری: مقاومت نهایی FRP-C با پوشش الیاف کربن پس از خوردگی تقریباً ۱۵٪ بیشتر از فولاد کربنی است.

پایداری شیمیایی در برابر محلول‌های خورنده

مقاومت شیمیایی پوشش‌های FRP در برابر محیط‌های حاوی یون کلرید بسیار بهتر از مواد فلزی است. این به‌دلیل ماهیت غیرقابل نفوذ ماتریس پلیمری و پایداری ذاتی الیاف تقویت‌کننده است.

داده‌های الکتروشیمیایی:

پتانسیل خوردگی (corrE) و جریان خوردگی (corrI) نمونه‌های مختلف مقایسه شد.

- فولاد کربنی: $E_{corr} = -600\ mV$, $I_{corr} = 2.0 \times 10^{-5}\ A/cm^2$
- FRP-C: $E_{corr} = -300\ mV$, $I_{corr} = 5.0 \times 10^{-7}\ A/cm^2$

محاسبات نرخ خوردگی (CR):

$$CR = \frac{K \cdot I_{corr} \cdot EW}{\rho}$$

برای فولاد ($EW = 55.8$, $\rho = 7.8\ g/cm^3$):

$$CR = \frac{3.27 \times 10^{-3} \cdot 2.0 \times 10^{-5} \cdot 55.8}{7.8} = 1.3\ mm/year$$

برای FRP-C:

$$CR = \frac{3.27 \times 10^{-3} \cdot 5.0 \times 10^{-7} \cdot 12.0}{1.8} = 0.01\ mm/year$$

نتیجه‌گیری:

نرخ خوردگی FRP-C تقریباً ۱۳۰ برابر کمتر از فولاد کربنی است.

بحث کلی و نتیجه‌گیری از تحلیل‌های فوق:

۱. کاهش سرعت گسترش ترکFRP : با الیاف کربن توانایی چشمگیری در کاهش نرخ گسترش ترک نشان داد، که این موضوع به‌دلیل خواص مکانیکی بالا و پایداری شیمیایی ماتریس و الیاف است.

۲. افزایش مقاومت مکانیکی: استفاده از FRP، به‌ویژه FRP-C، مقاومت مکانیکی بیشتری نسبت به فولاد و آلومینیوم پس از خوردگی ارائه داد.

۳. پایداری شیمیایی: پایداری شیمیایی FRP در محیط‌های خورنده باعث افزایش طول عمر مواد پایه شد.

۶.نتیجه‌گیری

۱. کاهش سرعت گسترش ترک: پوشش‌های FRP، به‌ویژه با الیاف کربن و آرامید، نرخ گسترش ترک ناشی از تنش مکانیکی و نفوذ کلرید را تا ۱۰۰ برابر نسبت به مواد فلزی کاهش دادند. این کاهش ناشی از پایداری مکانیکی و شیمیایی سیستم‌های FRP است.

۲. جلوگیری از نفوذ کلرید: FRP به دلیل ساختار غیرقابل نفوذ ماتریس پلیمری اپوکسی، از ورود یون‌های کلرید به سطح فلز جلوگیری کرده و در نتیجه، از شروع ترک و خوردگی ناشی از آن جلوگیری می‌کند.

۳. افزایش مقاومت مکانیکی: افزودن لایه‌های FRP موجب افزایش مقاومت کششی و مدول کشسانی مواد پایه شده است که به‌طور مؤثری مانع شروع و گسترش ترک می‌شود.

۴. مقاومت در برابر حفره‌زایی: نمونه‌های پوشش‌داده‌شده با FRP، حتی پس از قرارگیری در محیط کلریدی هیچ اثری از حفره‌زایی یا ترک‌خوردگی موضعی نشان ندادند. این عملکرد در مواد فلزی پایه به‌وضوح مشاهده نمی‌شد.

۵. بهبود طول عمر سازه‌ها: استفاده از FRP باعث افزایش طول عمر مواد و سازه‌ها در محیط‌های خورنده شده است. آزمون‌های تسریع‌شده خوردگی نشان دادند که FRP عمر مفید سازه‌ها را حداقل دو برابر افزایش می‌دهد.

۶. جایگزینی مؤثر برای فلزات سنتی: نتایج نشان داد که FRP، به‌ویژه با الیاف کربن و آرامید، گزینه‌ای مناسب برای جایگزینی فولاد و آلیاژهای آلومینیوم در شرایط شدید خورنده هستند.

۷. کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری: کاهش نرخ خوردگی و گسترش ترک باعث کاهش نیاز به تعمیرات دوره‌ای و هزینه‌های مربوط به نگهداری سازه‌ها در محیط‌های خورنده می‌شود.

۸. مقاومت در محیط‌های دریایی: FRP، به دلیل مقاومت بالای شیمیایی و مکانیکی، گزینه‌ای ایده‌آل برای سازه‌های دریایی مانند اسکله‌ها، خطوط لوله انتقال نفت و گاز و سازه‌های زیرآبی است.

۹. بهبود پایداری در آزمون‌های دینامیکی: پوشش‌های FRP به‌ویژه در بارگذاری‌های دینامیکی (مانند نوسانات بار و تنش‌های متناوب) پایداری بیشتری نسبت به فلزات سنتی نشان دادند.

۱۰. عملکرد الیاف آرامید: الیاف آرامید به‌دلیل انعطاف‌پذیری بالا، مقاومت مناسبی در برابر ترک‌های موضعی و شرایط بارگذاری ناگهانی نشان دادند، هرچند مدول کشسانی پایین‌تری نسبت به الیاف کربن داشتند.

۱۱. بهبود مقاومت خستگی: FRP-C توانست مقاومت خستگی نمونه‌ها را به‌طور چشمگیری افزایش دهد و نرخ آسیب‌دیدگی ناشی از تنش‌های سیکلی را کاهش دهد.

۱۲. مقاومت در برابر تابش UV: نتایج نشان داد که FRP-C و FRP-Aramid عملکرد مناسبی در برابر تابش UV داشته و تخریب ناشی از تابش نور خورشید حداقل بود.

۱۳. رابطه نرخ خوردگی با طراحی مواد: رابطه مستقیم بین کاهش نرخ خوردگی و طراحی ساختاری FRP تأیید شد. برای مثال، افزایش درصد حجمی الیاف در FRP باعث افزایش مقاومت به نفوذ کلرید شد.

۱۴. پایداری بلندمدت: آزمون‌های تسریع‌شده حاکی از آن بود که FRP حتی پس از ۱۰ سال شرایط معادل محیط کلریدی همچنان مقاومت مکانیکی و شیمیایی خود را حفظ می‌کند.

۱۵. کاهش اثرات زیست‌محیطی: استفاده از FRP باعث کاهش استفاده از فلزات سنگین و جلوگیری از انتشار محصولات خوردگی در محیط زیست شد.

۱۶. انعطاف‌پذیری طراحی: پوشش‌های FRP به دلیل تنوع در ماتریس‌ها و الیاف تقویت‌کننده، امکان طراحی متناسب با نیازهای خاص سازه‌ای را فراهم کردند.

۱۷. مقایسه نرخ خوردگی: نرخ خوردگی مواد پایه (مانند فولاد کربنی و آلومینیوم) بدون پوشش FRP، به‌ترتیب 1.3 mm/year و 0.8 mm/year بود، در حالی که FRP-C نرخ خوردگی 0.01 mm/year ارائه داد.

۱۸. حفاظت چندلایه: ماتریس پلیمری اپوکسی در کنار الیاف تقویت‌کننده، یک لایه چندمنظوره حفاظت در برابر تنش‌های مکانیکی و شیمیایی ارائه می‌دهد.

۱۹. رفتار برتر نسبت به متریال‌های سنتی: در مقایسه با پوشش‌های سنتی مانند رنگ‌ها یا لایه‌های محافظ معدنی، FRP نه‌تنها نرخ خوردگی را کاهش داد، بلکه ترک‌های ریز موجود را ترمیم کرد.

۲۰. کاربرد در صنایع مختلف: نتایج نشان داد که FRP برای صنایع نفت و گاز، صنایع دریایی، پل‌سازی و تأسیسات شهری ایده‌آل است.

۲۱. پایداری حرارتی: FRP توانست دمای بالا و پایین را بدون تغییر در خواص مکانیکی و شیمیایی تحمل کند، که این ویژگی در صنایع حساس نظیر پتروشیمی بسیار حائز اهمیت است.

۲۲. مزایای اقتصادی بلندمدت: هرچند هزینه اولیه FRP بالاتر است، اما با کاهش نرخ خوردگی و هزینه‌های تعمیرات، اقتصادی‌ترین گزینه در بلندمدت محسوب می‌شود.

۲۳. کاربرد چندمنظوره: FRP علاوه بر مقاومت در برابر ترک و خوردگی، به‌عنوان عایق حرارتی و الکتریکی عمل می‌کند.

۲۴. کاهش ریسک خرابی: FRP توانست ریسک خرابی سازه‌های حیاتی را در محیط‌های خورنده کاهش داده و ایمنی بلندمدت سازه‌ها را تضمین کند.

۲۵. تأیید کارایی سیستم‌های مدرن: نتایج این تحقیق تأیید کرد که سیستم‌های مدرن کامپوزیتی نظیر FRP بهترین راهکار برای جلوگیری از ترک‌خوردگی ناشی از کلرید هستند و می‌توانند جایگزین مناسبی برای متریال‌های سنتی باشند.

ارایه شده در اولین کنفرانس بین المللی ژئوانرژی و
پنجمین کنفرانس ملی ژئومکانیک نفت

بررسی و بهینه‌سازی استراتژی‌های تزریق CO_2 برای ذخیره‌سازی بلندمدت در مخازن گاز تخلیه‌شده

فرزاد رضایی قطب آبادی - دانشجو کارشناسی ارشد مهندسی نفت -مخازن، دانشگاه علم و صنعت
دکتر سید مجتبی حسینی نسب - عضو هیئت علمی دانشگاه علم و صنعت

چکیده

فرآیند جذب، استفاده و ذخیره‌سازی کربن (فناوری CCUS) از فناوری‌های بنیادین برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و مقابله با تغییرات اقلیمی می‌باشد. این فناوری با بهره‌گیری از مکانیزم‌های پیشرفته در محیط‌های متخلخل مدیریت و ثبات مؤثر CO_2 را می‌دهد. یک پدیده‌ی مهم در این زمینه هیسترزیس است که از رفتار غیرخطی و برگشت‌ناپذیر سیالات در محیط‌های متخلخل ناشی می‌شود. هیسترزیس نقشی دوگانه دارد: از یک سو شبیه‌سازی دقیق جریان‌های چندفازی و توزیع CO_2 را پیچیده می‌سازد و احتمال نشت از طریق ترک‌ها یا نقص‌های زمین‌شناختی را افزایش می‌دهد، و از سوی دیگر قابلیت دائمی خود در به دام انداختن CO_2 در ساختار سنگ مخزن را بهبود می‌بخشد و ریسک نشت را کاهش می‌دهد. عواملی مثل ویژگی‌های زمین‌شناسی، تراوایی، فشار اولیه مخزن، و انحلال‌پذیری CO_2 در آب، تأثیر قابل توجهی بر عملکرد و ایمنی ذخیره‌سازی دارند. این مطالعه از شبیه‌سازی سناریوهای عملیاتی متنوع استفاده می‌کند تا تأثیر عواملی مثل نرخ‌های تزریق، فشار مخزن و ویژگی‌های سنگ و سیال را بر پایداری و ایمنی بلندمدت پروژه‌های CCUS بررسی کند. علاوه بر این، نقش محدودکننده‌ی آبخوان‌های بی‌نهایت که می‌توانند به دلیل تداخل در دامنه‌ی جریانات سیالی و کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی تأثیر بگذارند، مورد بررسی قرار گرفته است. یافته‌ها نشان می‌دهد که بهینه‌سازی فرآیندهای تزریق، همراه با بهره‌گیری از مکانیزم‌های طبیعی مثل هیسترزیس، می‌تواند ظرفیت ذخیره‌سازی و پایداری CO_2 را افزایش داده و ریسک نشت را به حداقل برساند. این درک برای طراحی و اجرای مؤثر پروژه‌های CCUS راهبردهای عملی ارائه می‌دهد.

۱- مقدمه

ذخیره‌سازی و استفاده از کربن (CCUS) به‌عنوان یک فناوری پیشرفته و تحول‌آفرین، نقشی اساسی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و مقابله با تغییرات اقلیمی ایفا می‌کند. این فناوری شامل فرآیندهای پیچیده‌ی جذب دی‌اکسید کربن (CO_2) از منابع صنعتی، انتقال امن آن به مخازن زمین‌شناسی عمیق و استفاده بهینه از آن در کاربردهای مختلف صنعتی است. اهمیت CCUS در کاهش قابل‌توجه غلظت جهانی CO_2 غیرقابل انکار است، چراکه این فناوری به‌طور همزمان با پذیرش گسترده‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر و بهبود بهره‌وری انرژی همراه می‌شود [۱]. در حال حاضر، به نظر می‌رسد CCUS تنها راهکار عملی برای کاهش انتشار کربن ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی مثل زغال‌سنگ، نفت و گاز طبیعی باشد. این فناوری می‌تواند بستر مناسبی برای توسعه پایدار و کم‌کربن صنایع پرمصرفی همچون نیروگاه‌های زغال‌سوز، فولاد و سیمان فراهم کند و از پتانسیل بالایی برای رشد و تحول در آینده برخوردار است. این فرایند نسخه‌ی پیشرفته‌تر فناوری CCS (جذب و ذخیره‌سازی کربن) است که چهار مرحله‌ی اصلی جذب، انتقال، استفاده و ذخیره‌سازی کربن را شامل می‌شود [۲]. در حال حاضر، دو چالش اساسی بر اجرای فناوری‌های اصلی CCUS و پیشرفت آن‌ها تأثیرگذار هستند. از جمله این فناوری‌ها می‌توان به ذخیره‌سازی ژئولوژیکی CO_2 در ترکیب با بازیافت پیشرفته نفت ($EOR\text{-}CO_2$)، بازیافت گاز ($EGR\text{-}CO_2$) و بهره‌برداری از منابع آب شور عمیق ($EWR\text{-}CO_2$) اشاره کرد. این چالش‌ها شامل هزینه‌های بالای توسعه و پیامدهای زیست‌محیطی منفی هستند که روند گسترش این فناوری‌ها را با مانع مواجه می‌کنند [۳]. دی‌اکسید کربن جمع‌آوری‌شده می‌تواند به عنوان خوراک در فرآیندهای صنعتی مورد استفاده قرار گیرد تا با تبدیل آن به محصولات باارزش، به بهره‌وری و استفاده‌ی بهینه از کربن کمک کند [۴].

تحلیل CCUS نیازمند رویکردهایی جامع برای ارزیابی جذب، انتقال و ذخیره‌سازی CO_2 است. پیش‌بینی تغییرات اقلیمی با وجود عدم‌قطعیت‌ها، چالش‌برانگیز بوده و نیازمند درک دقیق چرخه‌ی کربن است. پروژه‌های CCUS با ترکیب مسئولیت‌پذیری زیست‌محیطی و مهندسی پیشرفته، به توسعه‌ی پایدار صنعتی کمک می‌کنند [۵]. تحقیقات نشان داده که استفاده از برخی روش‌های خاص در تکمیل چاه (مانند گزینه‌های بهبود یافته برای حفاری و مشبک‌کاری) نه تنها بازیافت گاز را افزایش می‌دهد، بلکه به مدیریت فشار ته‌چاهی هم کمک می‌کند. این امر برای چاه‌های تزریق بسیار مهم است، زیرا

افزایش کنترل‌نشده فشار در این نقاط می‌تواند منجر به آسیب به سازند یا کاهش بازدهی تزریق شود [۶]. عوامل جغرافیایی و زمین‌شناسی در پروژه‌های ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن (CCUS)، نقش حیاتی در انتخاب مخزن‌های مناسب دارند. موقعیت جغرافیایی باید به گونه‌ای انتخاب شود که به منابع تولید دی‌اکسیدکربن نزدیک باشد و از زیرساخت‌های موردنیاز مثل خطوط لوله برخوردار باشد. همچنین، دسترسی آسان به منطقه می‌تواند از هزینه‌های عملیاتی بکاهد [۷]. فناوری‌های نظارتی در پروژه‌های جذب و ذخیره‌سازی کربن (CCUS) نقش کلیدی در تضمین ایمنی و کارآیی دارند. این فناوری‌ها تمامی مراحل چرخه‌ی CO_2، از جذب تا ذخیره‌سازی زیرزمینی، را کنترل می‌کنند و امکان پایش فشار، دما، ترکیب گازها و رفتار سنگ‌های مخزن را فراهم می‌آورند [۸]. محققان از یک مدل عددی دوبعدی شعاعی برای شبیه‌سازی رفتار مخازن تخلیه‌شده و ارزیابی اثرات تزریق CO_2 بر ظرفیت ذخیره‌سازی و پایداری بلندمدت این مخازن استفاده کرده‌اند. تحلیل‌ها با بهره‌گیری از ابزارهای پیشرفته مهندسی مخزن، از جمله تحلیل فشار و شاخص تزریق‌پذیری، انجام شده و نتایج حاکی از تفاوت‌های بارز در رفتار مناطق نزدیک به چاه که از CO_2 غنی هستند در مقایسه با مناطق دورتر، که از این گاز بی‌بهره می‌باشند، بوده است. علاوه بر این، ارتباط میان شاخص تزریق‌پذیری با ویژگی‌های تراوایی و ضخامت مخزن نیز به‌طور قطعی تأیید شده است. یافته‌های این پژوهش بر اهمیت دینامیک جریان‌های چندفازی و نقش کلیدی مهاجرت CO_2 و تغییرات اشباع بر تحرک‌پذیری سیالات تأکید می‌کنند. این نتایج نه‌تنها می‌توانند برای بهینه‌سازی استراتژی‌های تزریق CO_2 در پروژه‌های میدانی به کار گرفته شوند، بلکه در مدیریت پیشرفته مخازن و بازیافت نفت (Enhanced Oil Recovery - EOR) نیز مؤثر خواهند بود[۹]، [۱۰]، [۱۱]، [۱۲]. این مطالعه تحلیل عملکرد مخازن و بهینه‌سازی پروژه‌های CCUS را با شبیه‌سازی دینامیکی و بررسی داده‌های عملیاتی انجام داده است. تنظیم دقیق پارامترهایی مانند تراوایی و فشار مخزن، پیش‌بینی رفتار و طراحی استراتژی‌های مدیریتی ایمن را ممکن کرده است. تحلیل ویژگی‌های زمین‌شناسی مخزن نواحی با تراوایی متغیر را شناسایی و تأثیر لایه‌بندی بر حرکت CO_2 را بررسی کرده است. تزریق همزمان آب و CO_2 به حفظ فشار، بهبود توزیع CO_2 و کاهش ریسک نشت کمک کرده است. نتایج نشان‌دهنده‌ی بهبود پیش‌بینی‌ها، کاهش ریسک‌های زیست‌محیطی و افزایش بهره‌وری پروژه‌های CCUS است [۱۳]، [۱۴]، [۱۵]، [۱۶]. تحقیقات جامع در زمینه‌ی فناوری‌های CCUS (جذب، استفاده و ذخیره‌سازی کربن) به منظور شناسایی و حل چالش‌های اصلی این حوزه انجام شده است. به عنوان مثال، پژوهش‌های Mojtaba et al (در سال ۲۰۱۴)، Song et al (در سال ۲۰۱۴)، Tapia et al (در سال ۲۰۱۸) و Middleton et al (در سال ۲۰۱۹) بر تأثیرات بلندمدت هیسترزیس بر رفتار سیالات در مخازن ذخیره‌سازی متمرکز شده‌اند. اگرچه این مطالعات بینش ارزشمندی ارائه می‌دهند، اما در بررسی جزئیات زمانی و مکانی اثرات هیسترزیس محدود بوده و به مدل‌سازی‌های پیشرفته‌تر نیازمند هستند. مدل‌سازی‌های ارائه‌شده توسط Karimnezhad et al (در سال ۲۰۱۴)، Rathnaweera et al (در سال ۲۰۱۸)، Jean et al (در سال ۲۰۱۵) و Song et al (در سال ۲۰۱۹) رفتار آبخوان‌های بی‌نهایت را تحلیل کرده‌اند. با این حال، کمبود اعتبارسنجی میدانی کافی و عدم توجه کامل به پیچیدگی‌های واقعی سیستم‌های زمین‌شناسی، محدودیت‌هایی در دقت پیش‌بینی این مدل‌ها ایجاد کرده است. همچنین، پژوهش‌های Sidiq and Amin (در سال ۲۰۰۹)، Al-Abri et al (در سال ۲۰۱۲) و Zhang et al (در سال ۲۰۱۹) بر بررسی تأثیر تزریق آب در بهبود جابجایی سیالات تمرکز داشته‌اند. این تحقیقات با وجود ارزشمند بودن، به طور کامل به شرایط متغیر مخازن و جلوگیری از ورود زودهنگام CO_2 نپرداخته‌اند، که این امر نیازمند تحقیقات تکمیلی است. در حوزه واکنش‌های شیمیایی ناشی از تزریق CO_2، مطالعات Jean et al (در سال ۲۰۱۵)، Song et al (در سال ۲۰۱۸)، Lee et al (در سال ۲۰۱۸) و Davoudi et al (در سال ۲۰۱۴) نشان داده‌اند که انحلال مواد معدنی می‌تواند به طور قابل‌توجهی بر تخلخل و نفوذپذیری سنگ‌ها تأثیر بگذارد. با این حال، تحلیل این واکنش‌ها در شرایط عملیاتی واقعی هنوز به طور جامع انجام نشده است [۱۷]، [۱۸]، [۱۹].

۲- روش مدل‌سازی و شبیه سازی

در شبیه‌سازی فناوری‌های CCUS، گازکلاهک مخزن کاملاً از گاز خالص تشکیل شده است که امکان بررسی دقیق رفتار گاز و مدل‌سازی مؤثر ذخیره‌سازی CO_2 را فراهم می‌کند. برای برآورد حجم سیالات مخزن، از شرایط جداکننده با دقت بالا استفاده شده که تحلیل داده‌های عملیاتی و بهینه‌سازی فرآیندهای مدل‌سازی را تسهیل می‌کند. در مناطق زیر سطح تماس آب و نفت، اشباع آب برابر با ۱ فرض شده که شرایط واقعی مخزن را بازتاب می‌دهد و به پیش‌بینی تغییرات فشار و جریان کمک می‌کند.

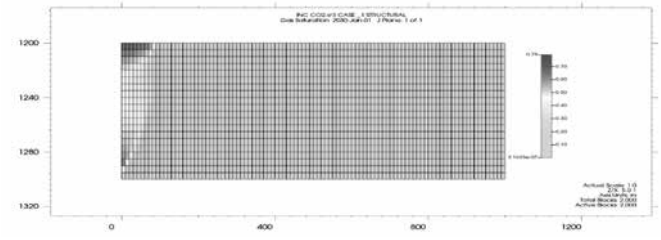
هدف مطالعه، بررسی اثر تزریق CO_2 بر تراوایی نسبی، فشار مخزن و رفتار فازی سیالات است. ابزارهای پیشرفته شبیه‌سازی تعاملات پیچیده بین CO_2 و سیالات مخزن را تحلیل کرده و درک بهتری از رفتار دینامیکی مخزن ارائه می‌دهند. نتایج نشان می‌دهد مدل‌سازی پیشرفته و داده‌های دقیق می‌تواند روش‌های تزریق را بهبود دهد. تنظیم فشار مخزن و طراحی سناریوهای مناسب خطر نشت را کاهش داده و ظرفیت ذخیره‌سازی را افزایش می‌دهد. مدیریت فشار و اشباع سیالات، عملکرد مخزن و پایداری آن را تقویت می‌کند. ترکیب داده‌های تجربی با شبیه‌سازی‌ها، استراتژی‌های بهینه‌تری ارائه داده و ابزارهای ارزشمندی برای پروژه‌های مشابه در آینده فراهم می‌کند.

سناریوهای انجام گرفته در این مطالعه	توضیح مختصر/هدف
سناریوی مطالعه پایه‌ای تزریق CO_2	پایه‌گذاری یک سناریوی پایه برای مشاهده رفتار تزریق CO_2 در غیاب عوامل خارجی، جهت مقایسه با سایر سناریوها.
سناریوی اثرات هیسترزیس بر پایداری ذخیره‌سازی	افزودن اثر پسماند برای مطالعه تغییرات تراوایی نسبی و تأثیر آن بر نگهداشت CO_2 در مسیرهای مختلف جریان.
سناریوی مدیریت آبخوان بی‌نهایت	بررسی تاثیر آبخوان بی‌نهایت در تثبیت فشار مخزن و کمک به توزیع بهتر CO_2 در نواحی مختلف مخزن.
سناریوی تزریق ترکیبی آب و CO_2	کنترل تحرک CO_2 و هدایت آن به نواحی کم‌تراوا.
سناریوی تثبیت شیمیایی و معدنی CO_2 (مدل Li-Nghiem)	ارزیابی امکان تثبیت بلندمدت CO_2 از طریق انحلال و تشکیل مواد کربناته به منظور ذخیره‌سازی پایدار و ایمن CO_2.

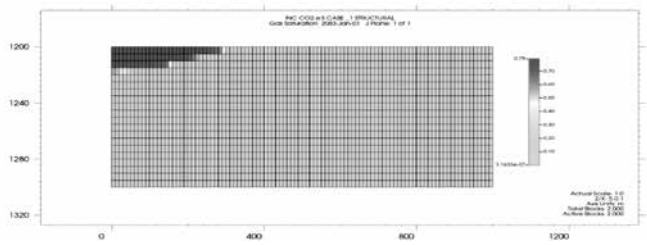
جدول (۱): سناریوهای مختلف برای بهبود فرآیندهای جذب، استفاده و ذخیره‌سازی کربن

۳- نتایج

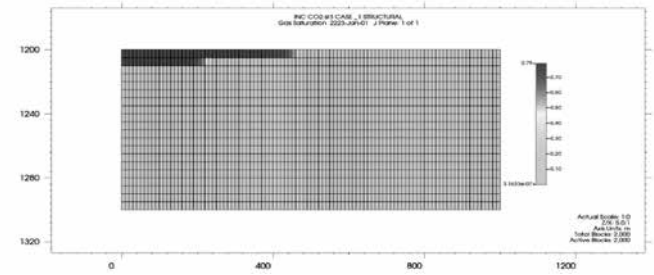
۳-۱- سناریوی مطالعه‌ی پایه‌ای تزریق CO_2



شکل (۱): تزریق CO_2 در مرحله‌ی اولیه



شکل (۲): تزریق CO_2 در مرحله‌ی میانی

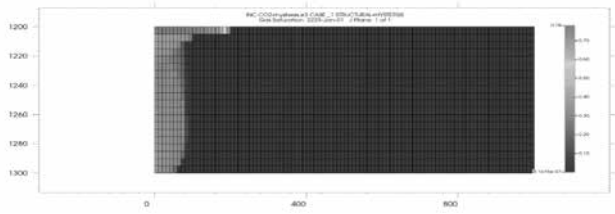


شکل (۳): تزریق CO_2 در مرحله‌ی پایانی

در فرآیند تزریق دی‌اکسید کربن (CO_2)، در مرحله‌ی اول گاز به‌صورت متمرکز در نزدیکی چاه تزریق وارد مخزن شده و اشباع به بیش از ۰/۷۵ می‌رسد. با افزایش فاصله، اشباع به دلیل مقاومت محیط متخلخل و تأثیر ضریب نفوذپذیری کاهش می‌یابد. این مرحله، نشان‌دهنده‌ی تثبیت اولیه CO_2 و ایجاد جابجایی مؤثر گاز است. در مرحله‌ی دوم، جبهه‌ی نفوذ CO_2 به لایه‌های میانی مخزن گسترش یافته و توزیع یکنواخت‌تری ایجاد می‌شود. پدیده‌های انتشار و جابجایی به تثبیت بهتر CO_2 و کاهش نشت کمک کرده و در بهینه‌سازی CCUS نقش اساسی دارند. ضریب نفوذپذیری در این مرحله به‌طور مشهودی انتشار گاز را تسهیل می‌کند. در مرحله‌ی سوم، اشباع CO_2 در نواحی انتهایی مخزن به دلیل افت فشار و کاهش تخلخل کاهش می‌یابد. تجمع گاز در لایه‌های فوقانی با تأثیر نیروی جاذبه و جابجایی گاز به تثبیت پایدارتری منجر می‌شود. طراحی بهینه‌ی فشار تزریق، تجمع مؤثر و جلوگیری از نشت را تضمین می‌کند و مبنای فناوری‌های پیشرفته‌ای مانند تزریق متناوب گاز و آب (WAG) قرار می‌گیرد.

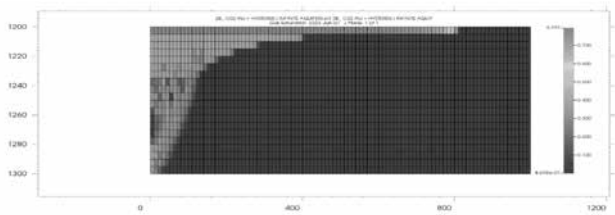
۳-۲- سناریوی اثرات هیسترزیس بر پایداری ذخیره‌سازی

در پروژه CCUS (ذخیره‌سازی و بهره‌برداری از کربن)، بررسی تراوایی نسبی گاز با مدل‌سازی اثر هیسترزیس و ضرایب مختلف اهمیت دارد. اعمال ضریب ۰/۴ نشان می‌دهد که تأثیر هیسترزیس بر جریان گاز (تزریق و برداشت) محدود است و منحنی‌های تراوایی نسبی تقریباً مشابه می‌مانند. افزایش ضریب هیسترزیس به نزدیک ۱ تغییرات بزرگی در منحنی‌های تراوایی ایجاد می‌کند، که رفتار سیالات را واقعی‌تر و پویاتر نشان می‌دهد. تمرکز این تحلیل بر تأثیر هیسترزیس بر توزیع اشباع گاز و مقایسه‌ی آن با حالت بدون هیسترزیس برای درک چگونگی تغییر نتایج کلیدی پروژه شامل کارایی ذخیره‌سازی، مکانیزم‌های به دام انداختن و رفتار دینامیکی در طول تزریق گاز می‌باشد. پروفایل اشباع در حضور هیسترزیس نشان‌دهنده‌ی توزیع محلی اشباع گاز بالا در نزدیکی منطقه‌ی تزریق و کاهش شدید با فاصله از آن است. شیب شدید نشان‌دهنده‌ی اثرات هیسترزیس است که احتمالاً گیراندازی باقی‌مانده را افزایش می‌دهد. هیسترزیس مسیر کاهش اشباع را در طول فازهای تخلیه یا اشباع مجدد بعدی تعدیل می‌کند، حرکت گاز را محدود کرده و ماندگاری را افزایش می‌دهد. مقدار حداکثر اشباع به طور فضایی متمرکزتر و محدودتر است. در مقابل، در غیاب هیسترزیس، اشباع گاز گسترده‌تر است و انتقال سطح اشباع در سراسر میدان یکنواخت‌تر می‌باشد. نبود هیسترزیس به معنای گیراندازی باقی‌مانده‌ی کمتر و تحرک بیشتر گاز تزریق شده است. یکنواختی پروفایل اشباع نشان می‌دهد که گاز تزریق شده ممکن است بدون محدودیت هیسترزیس دورتر مهاجرت کند که خطر نشت را افزایش می‌دهد.



شکل (۴): اشباع CO_2 در سال ۲۲۲۳:
تزریق با در نظر گرفتن پدیده‌ی هیسترزیس

۳-۳- سناریوی مدیریت آبخوان بی‌نهایت

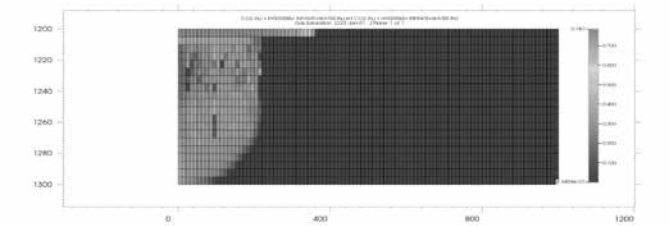


شکل (۵): اشباع تزریق CO_2
با در نظر گرفتن هیسترزیس و ابخوان بی نهایت

افزودن آبخوان بی‌نهایت به سیستم هیدروکربنی موجب تحولی بنیادین در شرایط عملیاتی می‌شود. این آبخوان به‌عنوان منبعی دائمی و پویا برای حفظ فشار مخزن عمل کرده و فشار موردنیاز را به صورت پایدار تأمین می‌کند. چنین سازوکاری موجب بهبود توزیع گاز CO_2 در مخزن شده و ظرفیت ذخیره‌سازی آن را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد.

در این راستا، شکل ۵ بدون در نظر گرفتن آبخوان بی‌نهایت به نمایش سناریوی تزریق گاز با در نظر گرفتن اثر هیسترزیس می‌پردازد، در حالی که شکل در نظر گرفتن آبخوان بی‌نهایت، تأثیرات افزودن آبخوان بی‌نهایت همراه با هیسترزیس را برجسته می‌سازد. علاوه بر این، فشار یکنواخت ایجاد شده توسط آبخوان از نشت گاز به نواحی خارجی جلوگیری کرده و موجب کاهش اتلاف گاز تزریقی می‌شود. اثر هیسترزیس، ناشی از تاریخچه فشار و اشباع مخزن، تأثیر شگرفی بر رفتار جریان فازهای مختلف CO_2 دارد. این پدیده موجب کنترل بهتر توزیع گاز در فرآیندهای تزریق و برداشت شده و پایداری عملیاتی فرآیند تزریق را تضمین می‌کند. افزون بر آن، افزودن آبخوان بی‌نهایت، با تغییر در شرایط مرزی مخزن، امکان نفوذ گاز به نواحی وسیع‌تر را فراهم می‌کند. چنین تغییری نه‌تنها جذب گاز CO_2 را در بخش‌های مختلف مخزن افزایش می‌دهد، بلکه ماندگاری طولانی‌مدت آن را در مخزن تضمین کرده و کارایی ذخیره‌سازی را بهبود می‌بخشد.

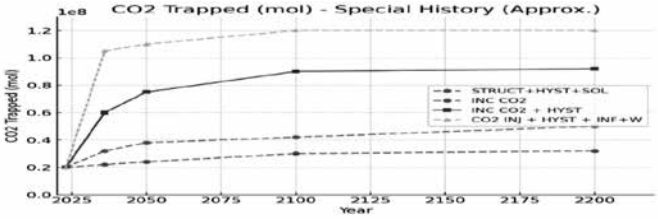
۳-۴- سناریوی تزریق ترکیبی آب و CO_2



شکل (۶): افزودن تزریق آب همراه با هیسترزیس و آبخوان بی‌نهایت

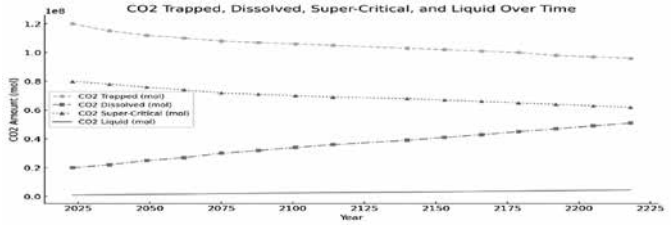
افزودن تزریق آب همراه با هیسترزیس و آبخوان بی‌نهایت به شبیه‌سازی‌های مخزن یک راهبرد پیشرفته و مبتنی بر اصول علمی برای ارتقای بازده و پایداری فرآیند ذخیره‌سازی CO_2 محسوب می‌شود. این رویکرد با تلفیق مکانیسم‌های پیچیده‌ای همچون تنظیم فشار، کنترل تحرک‌پذیری گاز، و بهینه‌سازی توزیع آن در مخزن، اثربخشی قابل ملاحظه‌ای را ارائه می‌دهد. ابتدا، تزریق آب نقشی کلیدی در تعدیل تحرک‌پذیری CO_2 ایفا می‌کند. کاهش سرعت مهاجرت گاز از طریق اشباع نواحی با نفوذپذیری بالا با آب، امکان توزیع یکنواخت گاز را فراهم کرده و از پیشروی سریع و نامطلوب آن به مناطق غیرهدف جلوگیری می‌کند. این فرآیند موجب هدایت CO_2 به نواحی با نفوذپذیری پایین‌تر شده و در نتیجه بخش وسیع‌تری از مخزن به طور مؤثرتری برای ذخیره‌سازی فعال می‌شود. علاوه بر این، تزریق آب به صورت متناوب یا همزمان با CO_2 می‌تواند به دام‌اندازی گاز در مناطق هدف کمک کرده و از نشت یا خروج آن به مسیرهای غیرمطلوب جلوگیری کند. این مکانیسم همچنین با یکنواخت‌سازی فشار در مخزن، از تشکیل کانال‌های پرسرعت جلوگیری کرده و توزیع منظم و همگن‌تری از گاز را تضمین می‌کند.

۳-۵- سناریوی تثبیت شیمیایی و معدنی CO_2 (مدل Li-Nghiem)



شکل (۷): حلالیت CO_2 در حالات مختلف در مخزن

این مطالعه مقدار CO_2 به دام افتاده را در چهار سناریوی مختلف ارزیابی کرده است. در سناریوی اول، ترکیب هیسترزیس و انحلال‌پذیری باعث کاهش میزان جذب گاز شده و محدودیت‌هایی در ذخیره‌سازی ایجاد می‌کند. سناریوی دوم، تزریق CO_2 بدون هیسترزیس را بررسی کرده که کاهش قابل‌توجهی در جذب گاز نشان می‌دهد. در سناریوی سوم، افزودن هیسترزیس موجب افزایش معنادار جذب CO_2 می‌شود و اهمیت آن در بهبود ظرفیت ذخیره‌سازی را برجسته می‌کند. سناریوی چهارم، ترکیب هیسترزیس و تزریق آب، بالاترین میزان جذب گاز را ثبت کرده و اثربخشی این رویکرد ترکیبی را نشان می‌دهد. در تمامی سناریوها، جذب CO_2 ابتدا به سرعت افزایش یافته و سپس به تعادل می‌رسد. این نتایج بر اهمیت هیسترزیس و تزریق آب در بهینه‌سازی ذخیره‌سازی CO_2 و اطمینان از پایداری بلندمدت فرآیند CCUS تأکید دارد.



شکل (۸): . حلالیت CO_2 در حالات مختلف در مخزن

ذخیره‌سازی CO_2 در مخازن زمین‌شناسی با چهار مکانیزم اصلی انجام می‌شود: CO_2 به دام افتاده، CO_2 حل‌شده، CO_2 فوق‌بحرانی و CO_2 مایع. این مکانیزم‌ها نقش‌های متفاوتی در پروژه‌های جذب و ذخیره‌سازی کربن (CCUS) ایفا می‌کنند که در ادامه به صورت مقایسه‌ای بررسی می‌شوند. مکانیزم به دام افتادن CO_2 با کاهش تدریجی مقدار ذخیره شده در طول زمان همراه است که می‌تواند به دلیل نشت یا تغییرات دینامیکی در مخزن باشد. با وجود این کاهش، حجم اولیه بالای CO_2 به دام افتاده نشان می‌دهد که این روش یکی از مؤثرترین مکانیزم‌ها در ذخیره‌سازی طولانی‌مدت است و اهمیت بالایی در پروژه‌های CCUS دارد. مکانیزم انحلال CO_2 در سیالات مخزن، مانند آب شور، با کاهش ملایمی در مقدار ذخیره شده همراه است. این کاهش به محدودیت ظرفیت انحلال CO_2 اشاره دارد. اگرچه این روش ظرفیت کمتری نسبت به دیگر مکانیزم‌ها دارد، اما برای کاربردهای کوتاه‌مدت و میان‌مدت می‌تواند گزینه‌ی مناسبی باشد. در این حالت، CO_2 به سرعت به پایداری می‌رسد و کاهش بسیار جزئی در مقدار ذخیره شده مشاهده می‌شود. این پایداری همراه با ظرفیت ذخیره‌سازی بالا، حالت فوق‌بحرانی را به بهترین گزینه برای ذخیره‌سازی بلندمدت CO_2 تبدیل کرده است. این ویژگی‌ها حالت فوق‌بحرانی را به یکی از ارکان اصلی بهینه‌سازی پروژه‌های CCUS تبدیل می‌کند. مقدار CO_2 مایع ذخیره شده بسیار کم بوده و تغییرات آن در طول زمان ناچیز است. این موضوع نشان می‌دهد که این حالت به دلیل ظرفیت ذخیره‌سازی پایین، نقش کمتری در پروژه‌های CCUS ایفا می‌کند و در مقایسه با حالت فوق‌بحرانی تأثیر کمتری دارد.

۴- بحث و نتیجه گیری

مدل‌سازی سه‌بعدی پیشرفته، با لحاظ نمودن اثرات پیچیده هیسترزیس، مدیریت کارآمد آبخوان‌های بی‌نهایت، راهبردهای ترکیبی تزریق آب و CO_2، و فرایندهای تثبیت شیمیایی، توانسته است ظرفیت ذخیره‌سازی و پایداری پروژه‌های CCUS را به طرز چشمگیری بهبود بخشد. این رویکرد جامع نه‌تنها بهینه‌سازی عملکرد ذخیره‌سازی را تسهیل کرده، بلکه با کاهش ریسک نشت CO_2، ایمنی و دوام طولانی‌مدت این پروژه‌ها را تضمین نموده است. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که بهره‌گیری از مدل‌سازی سه‌بعدی پیشرفته، امکان تحلیل دقیق و شفاف‌تری از تعاملات پیچیده میان CO_2 و سیالات مخزنی را فراهم می‌آورد. علاوه بر این، ادغام سناریوهای تزریق متنوع، به شناسایی و توسعه‌ی استراتژی‌های کارآمد جهت مدیریت فشار مخزن و بهبود توزیع یکنواخت CO_2 منجر شده است؛ دستاوردهایی که تأثیر قابل‌توجهی در دستیابی به اهداف زیست‌محیطی و صنعتی دارند.

برای تعمیق و گسترش نتایج به‌دست‌آمده، انجام مطالعات میدانی با هدف اعتبارسنجی داده‌های شبیه‌سازی و بهبود دقت مدل‌سازی‌ها امری ضروری به نظر می‌رسد از سوی دیگر،

ارزیابی هزینه-فایده راهبردهای پیشنهادی، از منظر اقتصادی، سرمایه‌گذاری و سودآوری، ابزار مؤثری برای تصمیم‌گیری‌های مدیریتی فراهم می‌کند. همچنین، توسعه‌ی فناوری‌های پیشرفته پایش، مانند تصویربرداری سه‌بعدی و حسگرهای هوشمند، می‌تواند به افزایش دقت در ارزیابی توزیع و حرکت CO_2 در مخازن منجر شود. با اجرای این پیشنهادات، پروژه‌های CCUS قادر خواهند بود سهم قابل‌توجهی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و تحقق اهداف پایداری جهانی ایفا کنند.

۵- مراجع

[1] Abdelhakim Deghmoum and Kamel Baddari, "A Riveting Review of Worldwide Industrial Geological Carbon Capture and Storage Projects with the Junction of CO2 Emissions in Algeria.," in All Days (North Africa Technical Conference and Exhibition, Cairo, Egypt: SPE, 2012), SPE-152755-MS, https://doi.org/10.2118/152755-MS

[2] Zhao-xia Liu et al., "CCUS and CO2 Injection Field Application in Abroad and China: Status and Progress," Geoenergy Science and Engineering 229 (October 2023): 212011, https://doi.org/10.1016/j.geoen.2023.212011

[3] Mvomo N. Edouard et al., "Comparative Numerical Study on the Co-Optimization of CO2 Storage and Utilization in EOR, EGR, and EWR: Implications for CCUS Project Development," Applied Energy 347 (October 2023): 121448, https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121448

[4] Pål Østebø Andersen et al., "Editorial of Special Issue 'Advances in CCUS for the Natural Gas Industry,'" Gas Science and Engineering, September 2024, 205463, https://doi.org/10.1016/j.jgsce.2024.205463

[5] Malte Meinshausen et al., "Greenhouse-Gas Emission Targets for Limiting Global Warming to 2 °C," Nature 458, no. 7242 (April 2009): 1158–62, https://doi.org/10.1038/nature08017

[6] Ermeng Zhao et al., "Numerical Simulation of CO2 Storage with Enhanced Gas Recovery in Depleted Tight Sandstone Gas Reservoirs," Fuel 371 (September 2024): 131948, https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.131948

[7] Pengchun Li et al., "A Preliminary Simulation of CO2-EOR and Storage in One Heavy Oil Carbonate Oilfield Offshore Guangdong, China," in Proceedings of the 8th International Congress on Environmental Geotechnics Volume 3, ed. Liangtong Zhan, Yunmin Chen, and Abdelmalek Bouazza, Environmental Science and Engineering (Singapore: Springer Singapore, 2019), 3–16, https://doi.org/10.1007/978-981-13-2227-3_1

[8] Srikanta Mishra et al., "Analyzing the Performance of Closed Reservoirs Following CO2 Injection in CCUS Projects," Energy Procedia 114 (July 2017): 3465–75, https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1477

[9] Wesley D. Peck et al., "Quantifying CO2 Storage Efficiency Factors in Hydrocarbon Reservoirs: A Detailed Look at CO2 Enhanced Oil Recovery," International Journal of Greenhouse Gas Control 69 (February 2018): 41–51, https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2017.12.005

[10] Peila Chen et al., "Application of CCUS in India: Designing a CO2 EOR and Storage Pilot in a Mature Field," International Journal of Greenhouse Gas Control 124 (March 2023): 103858, https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2023.103858

[11] Abouzar Mirzaei-Paiaman, Omar A. Carrasco-Jaim, and Ryosuke Okuno, "Techno-Economic-Environmental Study of CO2 and Aqueous Formate Solution Injection for Geologic Carbon Storage and Enhanced Oil Recovery," International Journal of Greenhouse Gas Control 138 (October 2024): 104257, https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2024.104257

[12] Zheng Chen et al., "Characteristics and Mechanisms of Supercritical CO2 Flooding under Different Factors in Low-Permeability Reservoirs," Petroleum Science 19, no. 3 (June 2022): 1174–84, https://doi.org/10.1016/j.petsci.2022.01.016

[13] Siyuan Chen et al., "A Critical Review on Deployment Planning and Risk Analysis of Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS) toward Carbon Neutrality," Renewable and Sustainable Energy Reviews 167 (October 2022): 112537, https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112537

[14] Liu, Zhi, and Jianchun Xu. "Characterization of CO2 Sequestration and Enhanced Oil Recovery in Near-depleted Edge-Bottom Water Reservoirs."

[15] Wan Mohd Shaharizuan Mat Latif et al., "A Review of Global Carbon Capture and Storage (CCS) and Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS)," ed. A. Abdul Jalil et al., E3S Web of Conferences 516 (2024): 01009, https://doi.org/10.1051/e3sconf/202451601009

[16] Shaughn A. Burnison et al., "4-D Seismic Monitoring of Injected CO2 Enhances Geological Interpretation, Reservoir Simulation, and Production Operations," Energy Procedia 114 (July 2017): 2748–59, https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.1539

[17] David A. Wood, "Carbon Dioxide (CO 2) Handling and Carbon Capture Utilization and Sequestration (CCUS) Research Relevant to Natural Gas: A Collection of Published Research (2009–2015)," Journal of Natural Gas Science and Engineering 25 (July 2015): A1–9, https://doi.org/10.1016/j.jngse.2015.05.013.

[18] H. J. Liu et al., "Worldwide Status of CCUS Technologies and Their Development and Challenges in China," Geofluids 2017 (2017): 1–25, https://doi.org/10.1155/2017/6126505.

[19] John Frederick D. Tapia et al., "A Review of Optimization and Decision-Making Models for the Planning of CO 2 Capture, Utilization and Storage (CCUS) Systems," Sustainable Production and Consumption 13 (January 2018): 1–15, https://doi.org/10.1016/j.spc.2017.10.001.

ارایه شده در اولین کنفرانس بین المللی ژئوانرژی و
پنجمین کنفرانس ملی ژئومکانیک نفت

A Brief Review on Acid Fracturing and its Application in Iran Carbonate Reservoirs with Introducing an EFG Chemical Model

Seyed Raef Sheikhahmadi (raef.sheikhahmadi@sharif.edu)
Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology
Ali Pak (pak@sharif.edu)
Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology

ABSTRACT

Acid fracturing is a relatively new technique proposed for increasing the reservoir permeability of the conventional as well as unconventional (very low permeability) reservoirs. Acid fracturing increases the permeability and facilitates oil recovery by both creating new cracks in the reservoir and also etching the crack faces. Acidizing the crack faces (usually by 15% HCL) increases roughness of the surfaces leading to crack stability under in-situ closing stresses that eliminates the need for employing propping agents such as sand. Acid fracturing mechanism involve injecting of the acid in a pre-existing (or a prefabricated) crack under high pressure, crack propagation due to highly pressurized injected acid, diffusion of acid into crack faces, chemical reaction of acid with the formation rock, acid leak-off to the matrix, and finally long-term crack closure under in-situ closing stresses. SW Iran and the adjacent offshore areas are rich hydrocarbon-producing regions containing 97% of oil and gas fields of Iran. Almost 80% of Iran oil is extracted from carbonate Asmari and Bangestan group formations. High applicability of acid fracturing in these carbonate formations (because of high reaction rate between carbonate and HCL) and also its applicability in some relatively low permeability (less than 2 md) oil reservoirs like Ilam and Dariyan, have encouraged the authors to investigate the application of acid fracturing in Iran carbonate oil fields.This paper after explaining the main mechanisms and the related governing equations in brief, reviews the existing numerical methods that can simulate acid fracturing. After that, applicability of this technique in Iran is investigated and some recommendations are made.Finally, an in-house developed chemical numerical code based on Fortran language was verified against an analytical single-species transport problem and numerical result shows good agreements with analytical one.

1. INTRODUCTION

1.1 Matrix Acidizing and Acid Fracturing

Reservoirs around the world can be divided into two categories of conventional and unconventional reservoirs based on their permeability. Moderate to highly permeable reservoirs (>1 md) are called conventional reservoir, where there is no or minor need to enhance their oil recovery by artificial means. On the other hand, for unconventional oil reservoirs in which their permeability is very low (0.00001 to 0.1 md) it is required to use EOR techniques or Reservoir Stimulation to increase oil recovery. Employing these techniques are economically justified for unconventional reservoirs [1].
Generally, there are three methods to facilitate oil delivery in low-permeability reservoirs: Matrix acidizing, Hydraulic fracturing and a more recent method i.e., Acid fracturing. Matrix acidizing is the oldest technique that has been used since 1930. In this technique, by low pressure injection of an acid (usually HCL 15%), the damage or non-oil components that block the pores connections are dissolved and matrix permeability increases. The second technique (hydraulic fracturing) is employed using high-pressure injection of water or gelled-water to induce artificial fractures within the matrix and facilitate flow of oil and gas towards the well. The third, which is the technique of interest in this paper, is acid fracturing. This technique combines former methods by injecting high-pressure acid into the matrix to induce hydraulic fractures and defy fracture closure by uneven acid etching of fractures walls. In the hydraulic fracturing, the later mission is carried out by propping agents such as sand. In the acid fracturing mechanism, when the acid reacts with structure, the induced heat usually affects both the reaction rate and the oil viscosity [2].
Various chemical and physical phenomena are involved in acid fracturing which leads to strong (Chemical-Hydraulic) or weak (Mechanical-Hydraulic) coupling between Thermo-Hydro-Mechanical-Chemical (THMC) components of

an acid fracturing job. Because of the inherent complexities of a THMC acid fracturing problem, different numerical techniques play a significant role in its analysis. In this research an Element-Free Galerkin (EFG) method is employed to analyze the problem.

Over 75% of Iran South Western reservoirs have carbonate structures where acid fracturing can exhibit its full efficiency. In any acid fracturing job, two important goals must be satisfied to achieve a successful yet economical job. (1) Achieving highest penetration distance of fresh acid in the crack and (2) To dissolve the crack faces and expand the crack as wide as possible to achieve highest hydraulic conductivity of the induced crack. The influencing parameters on acid fracturing are demonstrated in Figure 1 [3].

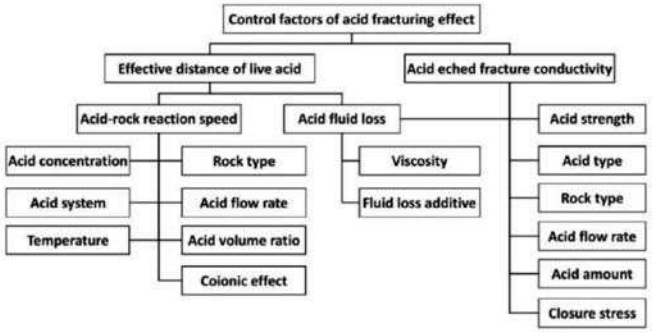


Figure 1. Governing parameters on acid fracturing [3]

The first study of acid fracturing via numerical simulation was carried out by Settari (1993). In his model, the acid concentration was assumed constant in either height or width of the crack (1D model). He suggests a theory for solving acid transport and leak off equations and provided some numerical examples in his study. In his model, for the first time, the heat transfer physic was coupled with other mechanisms to study the effect of heat on acid reaction rate [4]. Despite its simplicity, 1D model had a number of limitations. The main drawback of this model was determination of mass transfer coefficient (Kg). This coefficient was related to some other parameters such as effective diffusion coefficient (De) and reaction constant (k) via dimensionless correlations using some unrealistic assumptions. The correlations defining Kg were discontinuous at the border of laminar and turbulent flow regimes.

Settari et al. (2001) updated the former 1D model of acid transport and transformed it into a new 2D model with variable concentration of acid in both length and width of the crack. In their 2D model, the necessity for Kg was eliminated by direct solving of The Partial Differential Equations (PDEs) in the crack width. A comparison between the results of an etched width of a crack between the field, 1D model and 2D model is shown in Figure 2(a). The Figure 2(a) indicates that the 2D model better presents the variation of the etched width compared to the 1D model [5].

Mou et al. (2010) studied the effect of material (mineralogy) and permeability of discontinuities in a crack acidizing procedure using numerical Front Fixing Method (FFM). They concluded that higher coefficient of permeability in the crack height comparing to its length leads to fabrication of parallel channels rather than isolated pores [6].

Lyons et al. (2013) studied the crack acidizing procedure in pore scale via Lattice Boltzmann Method (LBM). They also took the heat transfer effects in their model. Figure 2(b) shows the acidized crack geometry, while Figure 2(c) shows the geometry comparison of two models, with and without heat transfer. As shown in Figure 2 (c), considering heat transfer in the model resulted in more etched width [7].

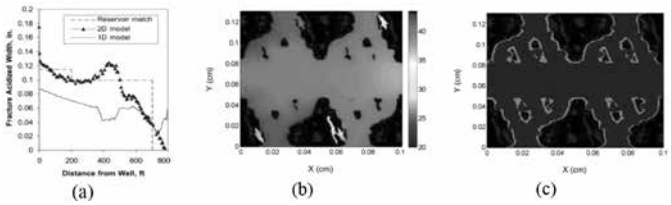


Figure 2. (a) comparison of Settari 1D and 2D models with actual result [5], (b) acidized crack geometry without heat effect, and (c) comparison between isothermal and thermal models and more etched width (red zone) in the thermal model [7]

Aljawad et al. (2020) developed a fully coupled THM model to study acid fracturing in Calcite and Dolomite formations and recognized the controlling parameters in the process. According to Figure 3 which showcases acid concentration in the crack length for (a) Calcite and (b) Dolomite structures, it can be noted that the acid reaction is less in Dolomite compared to Calcite. However, it leads to more penetration of live acid in the fracture causing longer crack length and more etching in Dolomite formation. Also, highest dissolution of crack face was observed to occur near the wellbore in calcite while it occurs in longer distances from the wellbore in dolomite [8].

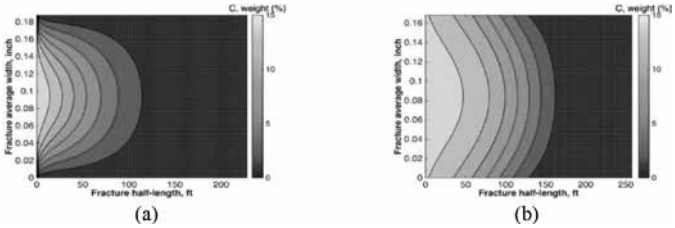


Figure 3. Simulation of acid concentration in rock cross-sections for (a) Calcite and (b) Dolomite [8]

1.2 Iran Carbonate Reservoirs

Data from 115 Iran reservoirs at 60 oil and gas fields were

collected in order to study the characteristics of carbonate reservoirs of South West Iran [9]. Since the discovery of Masjid-Soleiman oil field in May 1908, more than 6000 exploration wells have been drilled leading to unearthing 124 oil and 57 gas fields in Iran. Most of oil and gas fields are positioned in the Zagros fold belt and Persian Gulf. These fields contain 97% of Iran's hydrocarbon reservoirs. Nearly 90% of Iran initial oil in-place are situated in onshore fields, while 70% of gas in-place are located in offshore areas. All hydrocarbon producing fields are sorted into 4 main carbonate units: Dehram, Khami and Bangestan groups and the Asmari formation. Each group has numerous oil and gas fields which listed in [9].

1.2.1 Dehram Group

The Dehram group involves the Faraghan, Dalan and Kangan formations. The fields related to Dehram group are located in easter Zagros area and adjacent offshore and stored about 90% of Iran gas reserves. Separated individual pores (Oomouldic porosity) is the most important pore type noticed in Dehram group reservoirs with average porosity of 9% and average permeability of 30 md. The quality of reservoirs related to this group decreases from offshore to onshore due to the increase in clay content [9].

1.2.2 Asmari Formation

Most of Iran oil (about 80%) is extracted from Asmari formation. This formation contains 45% of Iran oil in-place reserves. Asmari limestone is an oil-rich rock with at least 57 oil and gas fields. Asmari limestone is massive and dense with poor reservoir attributes, and its productivity can be raised by fracturing and dolomitization. Although most of the oil in Asmari formation is provided by fractured carbonate, the remaining oil is extracted from Ahwaz sandstone. Asmari limestones are recognized by their grain dominated faces. Average matrix porosity of Asmari formation is 10% [9]. In a study on saturated Asmari reservoirs, these reservoirs were found to have high asphalt content which cannot be treated by neutral gas or water injection, so the author recommended to execute acid treatment to enhance oil recovery [10].

1.2.3 Bangestan Group

The Bangestan group accounts for 37% of Iran oil in-place reserves and consists of Kazhdumi, Sarvak and Ilam formations. While this group reservoirs have flourishing initial oil in-place, recovery of the reservoirs is low ranging from 20 to 30%. The mean porosity of the Sarvak formation is 13% with low permeability of 14 md, on average. In Ilam formation, the main tool for enhancing the reservoir quality is fracturing because the average porosity of the formation is around 10% and the mean permeability is less than 10 md [9].

1.2.4 Khami Group

The Khami group stores 15% and 4% of Iran oil and gas in-place volumes, respectively and consists of four formations named: Surmeh, Fahlian, Gadvan and Dariyan. Khami related fields have considerable gas exploration potential and more than 56 oil and gas fields have been found in Khami carbonate group. This group of reservoirs are associated with mud-dominated faces and poor reservoir properties. The local reservoir quality can be increased by dolomitization and fracturing [9].

A diagram of permeability vs porosity for major reservoirs is shown in Figure 4. According to this Figure, reservoirs of SW of Iran can be categorized in to 3 groups of: good quality (red color), mediocre reservoir quality (blue color) and low quality (yellow color). The low-quality reservoirs are suitable candidates for IOR by acid [9].

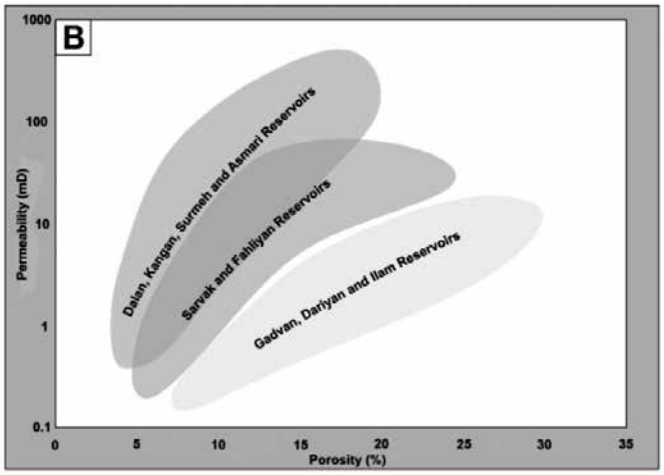


Figure 4. Permeability vs porosity for major reservoirs and fields [9]

Sanandaji et al. (2020) mentioned a case study of a successful matrix acidizing job at an oil field in SW of Iran. The well production was 750 Barrels Per Day before acidizing while the it has been increased to 1100 Barrels Per Day after the acidizing. Also, the skin was 7.5 and became -3.5 before and after acidizing, respectively [11].

Currently, a fully coupled THMC code is under development in order to solve various acid stimulation problems. In the following, a brief description of EFG numerical method that solves the dominant partial differential equation (PDE) of the problem is provided. Then, a simple single-solute transport problem is solved via employing the newly-developed EFG code.

2.METHODS

2.1 Governing Differential Equation and its Solution using EFG method

EFG method is one of numerical meshfree methods and has numerous advantages over conventional numerical methods such as FEM. Some of EFG advantages are: eliminat-

ing mesh-related problems like mesh adaptivity and zero/negative Jacobian matrix, and no remeshing requirement in crack propagation problems. The major drawback of this method comparing to FEM is incapability to satisfy Dirichlet boundary condition and Kronecker delta condition. To overcome this hindrance, there are two methods of Penalty and Lagrange multipliers where the Penalty method is exploited in this study.

In order to study the acid fracturing or the matrix acidizing, there must be relations and equations to simulate acid reaction in the medium. To model such chemical reactions, Advection-Dispersion-Reaction (ADR) equation which is derived from conservation of species mass is employed and coded in the simulation code. Equation. 1 is the governing partial differential equation (PDE) of a single-species solute Advective-Dispersive-Decay (Transport) problem [12].

$$\Re\frac{\partial c}{\partial t} + \boldsymbol{v}.\nabla c - \boldsymbol{D}\nabla^2 c + \Re\vartheta c = 0 \quad (1)$$

Where R is retardation, ϑ is decay rate, c is concentration, v and D are flow velocity and dispersion coefficient, respectively. The first term is showcasing concentration variations during time. The second term is related to variations of concentration in space resulted from flow of the species (advection). The third term is also related to variations of concentration in space which is a combination of molecular diffusion caused by concentration gradient and mechanical dispersion. Finally, the last term is representing impacts of retardation and decay on the concentration. In this particular problem due to lack of reaction, the reaction term is absent in the ADR equation, though it is a part of general form of ADR equation.

By employing a weighted residual method and using a weight function (ω), the weak form of Eq. 1 (Eq. 2) is derived as:

$$\int_\Omega \frac{\partial}{\partial t}(\Re_k c_k)\omega d\Omega - \int_\Omega c_k \boldsymbol{v}.\nabla\omega d\Omega + \int_\Omega \nabla\omega.(\boldsymbol{D}.\nabla c_k)d\Omega + \int_\Omega (\Re_k \vartheta)c_k\omega d\Omega + \int_{\Gamma_N} q_N\omega\, d\Gamma + \int_\Omega \alpha_{ch}\,\bar{c_k}\bar{\omega}d\Omega = 0 \quad (2)$$

The last term of Eq. 2 is added due to using the penalty method to mitigate applying Dirichlet boundary condition. By selecting appropriate weight functions i.e., (ω=dc), ($\nabla\omega = \delta(Lc)$) and ($\int_\Omega \bar{\omega}\alpha_{ch}\,\bar{c_k}d\Omega = \delta\int_{\Gamma_c}\frac{1}{2}(c-\bar{c})^T\alpha_{ch}\,(c-\bar{c})d\Gamma$) and using partial integration and Gauss integral theorem, Eq. 3 is derived.

$$\int_\Omega \delta c^T \varepsilon s\Re_k\frac{\partial}{\partial t}(c)d\Omega - \int_\Omega \delta(Lc)^T.c\,\boldsymbol{q}d\Omega + \int_\Omega \delta(Lc)^T.\boldsymbol{D}.(Lc)d\Omega + \int_\Omega \delta c^T(\varepsilon s\Re_k\vartheta)(c)d\Omega + \int_\Omega \delta c^T(-H - Q_{c_k w})d\Omega + \int_{\Gamma_N}\delta c^T q_N\, d\Gamma + \delta\int_{\Gamma_c}\frac{1}{2}(c-\bar{c})^T\alpha_{ch}\,(c-\bar{c})d\Gamma = 0 \quad (3)$$

The terms of Eq. 3 are defined as follows.

$$c^h = \sum_I^n \phi_I c_I \;,\quad Lc = \begin{bmatrix}\frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z}\end{bmatrix}^T,\quad L_c c^h = \sum_I^n B_{cI}c_I = \sum_I^n \begin{bmatrix}\phi_{I,x}\\ \phi_{I,y}\\ \phi_{I,z}\end{bmatrix} c_I \quad (4)$$

Where ϕ is EFG shape function, n is number of nodes in local support domain, L is differential operator matrix and B is the derivative of the shape function matrix. By expanding each term of Eq. 3 and merging all relations, Eq. 5 is achieved.

$$\delta c^T C_{55}\dot{c} + (\delta c^T k_{55} + \delta c^T k_c^\alpha)c - \delta c^T F_c - \delta c^T F_c^\alpha = 0 \quad (5)$$

Executing time discretization by generalized trapezoidal rule in time $t_{n+\theta}$ and employing a fully explicit approach (θ=1), Eq. 6 is achieved.

$$[C_{55} + \Delta t(k_{55} + k_c^\alpha)]^{n+1}[c]^{n+1} - [C_{55}]^n[c]^n = \Delta t\left[F_c + F_c^\alpha\right]^{n+1} \quad (6)$$

Eq. 6 matrixes are as follows.

$$\begin{aligned} &C_{55IJ} = \int_\Omega \phi_I^T\, \varepsilon s\Re_k\phi_J d\Omega\,,\\ &k_{55IJ} = -\int_\Omega B_{cI}^T\, \boldsymbol{v}\phi_J d\Omega + \int_\Omega B_{cI}^T\, \boldsymbol{D}B_{cJ}d\Omega + \int_\Omega \phi_I^T\,\Re_k\vartheta\phi_J d\Omega\,,\\ &F_{cI} = -\int_{\Gamma_N}\phi_I^T q_N\, d\Gamma\,,\\ &k_{cIJ}^\alpha = \int_{\Gamma_c}\phi_I^T\,\alpha_{ch}\phi_J d\Gamma \text{ and}\\ &F_{cI}^\alpha = \int_{\Gamma_c}\phi_I^T\alpha_{ch}\,\bar{c}d\Gamma \end{aligned} \quad (7)$$

3. SIMULATION RESULTS

To examine the accuracy of the developed EFG code for solving the chemical equation, it was verified against the analytical solution of a single-species Advection-Dispersion-Decay problem [12]. The problem is a column of a saturated homogeneous porous media in which a single-species solute intrudes with a constant flux ($\boldsymbol{q}$=$e\boldsymbol{v}$). The column dimensions are 100*0.1*0.1 m in which the spatial discretization or node spacing is 0.1 m and temporal discretization (time step) initiated from 10^{-4} day and was ten-folded after 25 time-steps. The coefficients, and initial and boundary conditions are provided in Table 1. The results of the distribution of solute concentration along the column after 50 and 100 days are illustrated in Figure 5. As shown in Figure 5, the EFG results are consistent with the analytical ones.

Quantity	Symbol	Value	Unit
Column length	L	100	m
Constant flux	$\boldsymbol{q}$	0.1	md^{-1}
Porosity	ε	0.2	1
Constant velocity	$\boldsymbol{v}$=$\boldsymbol{q}/\varepsilon$	0.5	md^{-1}
Retardation	$\Re$	1.4	1
Decay rate	ϑ	2e-8	s^{-1}
Dispersion	$\boldsymbol{D}$	5.787e-7	m^2s^{-1}
Initial (IC) and Boundary (BC) Conditions			
Initial Condition of c	c_0	0	mg l^{-1}
Dirichlet-type BC at $x = 0$	c_D	1	mg l^{-1}
Natural BC at $x = L$	q_{nc}	0	gm^{-2} d^{-1}

Table 1. Properties of the single-species transport problem

4. CONCLUSIONS

There are various techniques for increasing the permeability of unconventional reservoirs and the acid fracturing tech-

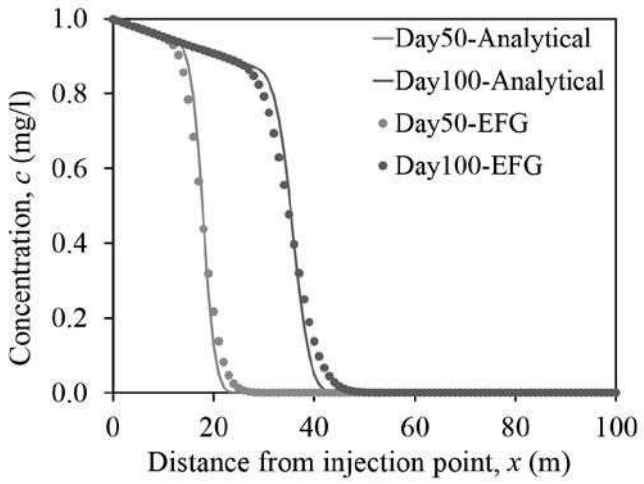


Figure 5. Results of numerical EFG vs analytical distribution of a single-species transport [12]

nique is one of the most efficient methods. In this technique the high-pressure acid is injected into the reservoir to create artificial hydraulic cracks and etching their smooth surfaces by chemical reactions to induce cracks that can withstand the closing in-situ stresses.

In this research first a review of numerical methods regarding acid fracturing were presented then reservoirs of SW Iran were introduced and the properties of each formation were explained. It was concluded that among all formation groups of Iran oil reservoirs, Ilam (Bangestan group), Gadvan (Khami group) and Dariyan (Khami group) are good candidates for acid fracturing. Also, the permeability of some fields of the Asmari formation that contains high amounts of asphalt can be improved by matrix acidizing to facilitate the oil flow.

Lastly, a new EFG code was developed to solve the chemical equation and was verified against a single-species solute transport problem and the obtained numerical results showed good agreements with analytical solutions.

According to high potential of acid stimulation techniques and promising results in oil industry, these techniques can be localized to employ in Iran carbonate reservoirs to improve oil recovery. Numerical simulation of acid fracturing or matrix acidizing in Iran formations gives insight into better understanding Iran formations behavior to acid treatments. It also allows reservoir engineers to achieve highest oil recovery of any reservoir of interest by optimizing design parameters.

5. REFERENCES

[1] H. Kazemi.; (1982); "Low-Permeability Gas Sands," Journal of Petroleum Technology, vol. 34, no. 10, pp. 2229–2232, doi: 10.2118/11330-PA.

[2] Michael J. Economides and Kenneth G. Nolte.; (2000); Reservoir Stimulation, 3rd ed., vol. 1. UK: John Wiley & Sons.

[3] N. Li, J. Dai, P. Liu, Z. Luo, and L. Zhao.; (2015); "Experimental study on influencing factors of acid-fracturing effect for carbonate reservoirs," Petroleum, vol. 1, no. 2, pp. 146–153, doi: 10.1016/j.petlm.2015.06.001.

[4] A. Settarl.; (1993); "Modeling of Acid-Fracturing Treatments," SPE Production & Facilities, vol. 8, no. 01, pp. 30–38, doi: 10.2118/21870-PA.

[5] A. Settari, R. B. Sullivan, and C. Hansen.; (2001); "A New Two-Dimensional Model for Acid-Fracturing Design," SPE Production & Facilities, vol. 16, no. 04, pp. 200–209, doi: 10.2118/73002-PA.

[6] J. Mou, D. Zhu, and A. D. Hill.; (2010); "Acid-Etched Channels in Heterogeneous Carbonates—a Newly Discovered Mechanism for Creating Acid-Fracture Conductivity," SPE Journal, vol. 15, no. 02, pp. 404–416, doi: 10.2118/119619-PA.

[7] J. Lyons, H. Nasrabadi, and H. Nasr-El-Din.; (2013); "A Novel Model for Fracture Acidizing with Important Thermal Effects," in SPE Unconventional Resources Conference Canada, SPE, doi: 10.2118/167158-MS.

[8] M. S. Aljawad, M. P. Schwalbert, D. Zhu, and A. D. Hill.; (2020); "Improving acid fracture design in dolomite formations utilizing a fully integrated acid fracture model," J Pet Sci Eng, vol. 184, p. 106481, doi: 10.1016/j.petrol.2019.106481.

[9] B. Esrafili-Dizaji and H. Rahimpour-Bonab.; (2019); "Carbonate Reservoir Rocks at Giant Oil and Gas Fields in SW Iran and the Adjacent Offshore: A Review of Stratigraphic Occurrence and Poro-Perm Characteristics," Journal of Petroleum Geology, vol. 42, no. 4, pp. 343–370, doi: 10.1111/jpg.12741.

[10] "http://ekteshaf.nioc.ir/article-1-220-fa.pdf."

[11] F. Sanandaji, P. Vaziri, and A. Nakhaei.; (2020); "Assessment of acidizing methods in Iran carbonate reservoirs (in Persian)," in 10th National Conference on New Research in Chemical Science and Engineering, Babol.

[12] H.-J. G. Diersch.; (2014); FEFLOW. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi: 10.1007/978-3-642-38739-5.