هشتمین همایش صنایع دریایی
۹ لغایت ۱۱ آبانماه ۱۳۸۵
استان بوشهر

بررسی عیوب خوردگی و شکست در پمپ های تزریق آب دریا به چاه های نفت

عباس آقاجانی

اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان

aghajani@cc.iut.ac.ir

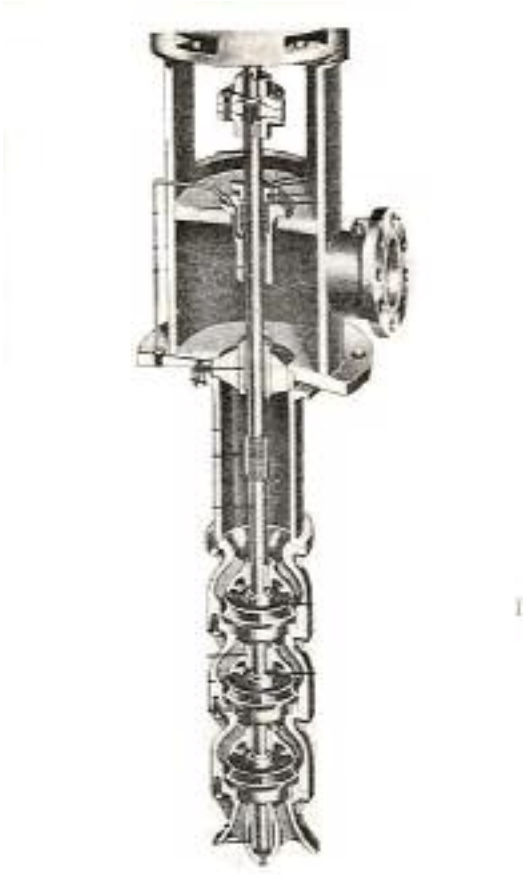
چکیده

چاه های نفت از لحاظ نحوه استخراج نفت به دو دسته چاه های فعال و غیر فعال تقسیم بندی می شوند. در چاه های فعال،نفت تحت تاثیرفشار گاز طبیعی که در برخی از معادن زیر زمینی موجود می باشد،استخراج میشود. در چاه های غیر فعال فشار لازم جهت استخراج نفت توسط تزریق گاز و یا آب به درون معادن زیر زمینی نفت صورت می گیرد. حوزه نفتی سلمان در خلیج فارس،حوزه مشترکی بین ایران و برخی کشورهای عربی است. در این حوزه استخراج نفت توسط تزریق آب دریا به میادین نفتی انجام می شود. با عنایت به مشترک بودن حوزه مذکور،سرعت برداشت نفت از این میدان از لحاظ ملی و اقتصادی در اولویت بالایی قرار دارد. تزریق آب دریا به چاه های نفتی حوزه سلمان توسط پمپ های با دبی خروجی 5000GPMصورت می گیرد. در این پروژه علل خوردگی و شکست پمپ های مذکور مورد بررسی قرار گرفت و سپس طی قرار داد دیگری نمونه ای از این پمپ ها توسط دانشگاه صنعتی اصفهان ساخته شد.در این مقاله ضمن آشنا شدن با قسمتهای مختلف این پمپ ها،دلایل شکست و خوردگی قطعات پمپ های سکوهای دریایی و راه حل های آن مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

کلمات کلیدی: پمپ ـ سکوی دریایی ـ خوردگی ـ شکست

۱-مقدمه

بررسیهای انجام شده بر روی قطعات پمپ حاکی از شکست و از کار افتادن آنها توسط عیوب مکانیکی و خوردگی می باشد. به عنوان مثال می توان از بروز SCC (stress cracking corrosion) درColumn pipe ،کاویتاسیون شدید در پره ها و Casingپمپ ها، ارتعاش محور پمپ و در نتیجه بروز خوردگی و شکست در آنها،ارتعاش مجموعه پمپ و....را نام برد.با انتخاب صحیح مواد و طراحی مناسب نمونه ای از پمپ های مذکور توسط دانشگاه صنعتی اصفهان ساخته شد و تا زمان فعلی یعنی زمان نوشتن این گزارش (۸۵/۳/۳۰)حدود ۴ سال از کارکرد مداوم آن می گذرد. [۱]در شکل (۱) نمونه ای از پمپ های عمودی تزریق آب دریا مشاهده می شود.



شکل۱- نمونه ای ازپمپ عمودی تزریق آب دریا. [۱]

۲- عیوب پمپ های آب شور سکوی سلمان

بر اساس بررسیهای بعمل آمده پمپ های مکش آب شور سکوی سلمان دارای معایب زیر بوده است.

۱- شکست line shaft از محل line shaft sleeve

۲- خوردگی ناشی از تزریق سدیم هیپو کلریت بر روی اجزاء پمپ

۳-خوردگی و افزایش تلرانس bearings پمپ و در نتیجه افزایش ارتعاش و شکست قطعات پمپ

۴-بالانس نبودن پره های فولادی پمپ

۵-قطعات مورد استفاده از جنس مناسب با شرایط کاری پمپ های آب شور سکوهای دریایی نمی باشد.

۶-وجود سایش و کاویتاسیون شدید در پره های پمپ و نیز سایش دیفیوزر casing

۷-بروز خوردگی شدید SCCدر column pipe پمپ ها [۱]

۲-۱ شکست line shaft از محل line shaft sleeve

بررسی های انجام شده نشان داد اغلب Line shaftsاز محل اتصال Sleeve به Shaft دچار شکست شده اند.

آنالیز شیمیایی محور مزبور به شرح جدول می باشد. بر اساس جدول(۱) آلیاژ مزبور فولاد زنگ نزن321 می باشد.

جدول ۱ -آنالیز شیمیایی line shaft

ترکیب شیمیایی بر حسب درصد وزنی																	
W	V	Ti	Sn	Nb	Cu	Co	B	Al	Ni	Mo	Cr	S	P	Mn	Si	C	Fe
0.10	0.07	0.51	0.01	0.03	0.21	0.04	-	0.02	10.61	0.22	17.73	0.01	0.03	1.06	0.1	0.05	86.04

سطح مقطع شکست مورد بررسی متالوگرافی قرار گرفت و مشخص گردید بر اثر حرارت ناشی از جوشکاری در مرز دانه های فولاد زنگ نزن، رسوبات کاربید تشکیل شده و این موضوع سبب شکست محور از ناحیه مذکور شده است. [۱]

۲-۲ خوردگی ناشی از تزریق سدیم هیپو کلریت بر روی اجزاء پمپ

گاز کلر یکی از عوامل شناخته شده در کنترل آلودگیها می باشد و از آن در رفع آلودگی فاضلاب، خالص سازی آب خوراکی، جلوگیری از رشد جلبک ها، استخرهای شنا و..... بکار می رود.

ذخیره سازی و استفاده از گاز کلر می تواند خطرات قابل ملاحظه ای را بدنبال داشته باشد. ضریب انبساط حرارتی کلر مایع در حالت بی آب بقدری بالاست که افزایش متوسط حرارت محیط اطراف می تواند باعث ترکیدن مخزن آن شود. این مایع دارای خاصیت اکسید کنندگی بالایی می باشد و با یک جرقه می تواند باعث اکسیدآسیون سریع سطح فلز شود. وجود آب حتی به مقدار کم باعث واکنش گرمازا شده و در نتیجه مخزن فلزی حاوی آن سریعا خورده خواهد شد. علاوه بر خاصیت اکسید کنندگی، گاز کلر به عنوان یکی از گازهای شیمیایی مورد استفاده در سلاح های شیمیایی شناخته شده است.

به منظور اجتناب از خطرات ناشی از حمل و نقل، ذخیره سازی و بکارگیری کلر، از محلول سدیم هیپو کلریت استفاده می شود. این محلول با غلظت ۱۵٪ توسط برخی کمپانی ها تولید و به بازار عرضه می شود. علاوه بر این امکان تولید آن در محل و به کمک الکترولیز آب دریا وجود دارد. در حقیقت محلول سدیم هیپوکلریت جایگزین خوبی بجای کلر مایع جهت تزریق در پمپ های سکوهای دریایی می باشد. از لحاظ مسائل ایمنی، قابل مقایسه با کلر نبوده و دارای امنیت به مراتب بالاتری نسبت به کلر بوده و بکار گیری آن آسان است. این ماده بی بو بوده و براحتی توسط آب شسته می شود و مشکلات بکارگیری و حمل و نقل کلر مایع را ندارد. [۴]

محلول سدیم هیپوکلریت با غلظت ۱ الی ۳ ppm به همراه مکش آب دریا وارد سیستم پمپ می شود. این عامل علاوه بر جلوگیری از رشد فولینگ های دریایی منجر به خوردگی و شکست در برخی قطعات پمپ می شود. از طرف دیگر تزریق این ماده در پمپ های سکوهای دریایی ضروری و الزامی می باشد. بنابر این مواد مورد استفاده درقطعات پمپ باید بتواند در شرایط فوق الذکر بخوبی عمل کند. با افزایش غلظت محلول سدیم هیپوکلریت،مقدار خوردگی wear rings، پره ها و شکست Line shaft و Pump shaft به مقدارقابل ملاحظه ای افزایش می یابد.دلیل عمده این موضوع عدم توجه شرکت های داخلی به شرایط کاری پمپ،نوع ماده و طراحی آن بوده است. در این رابطه می توان از خوردگی SCCدر column pipes، wear rings و bearings پمپ نام برد .با توجه به حساسیت بالای این قطعات در عملکرد خوب پمپ، خوردگی آنها منجر به بروز ارتعاش و شکست قطعات پمپ و در نهایت توقف پمپ می شود. [۱]

۲-۳ خوردگی و افزایش تلرانس bearing های پمپ

همانطور که قبلا اشاره شد خوردگی wear ringsو bearings پمپ منجر به ارتعاش و در نهایت شکست قطعات و توقف پمپ می شود .مواد مورد استفاده در bearingپمپ، باید دارای ضریب اصطکاک پائین، رفتار سایشی مطلوب، استحکام فشاری و خستگی بالا، و نیز مقاوم در برابر خوردگی در محیط دریا باشد. [۶]

کامپوزیت های پلیمری حاوی کربن و یا برخی از پلی اورتانها بطور موفقت آمیز به عنوان wear ringو bearing در پمپ های سکوهای دریایی بکار رفته است. بر اساس شکل مزبور شیارهایی در داخل bearing جهت عبور آب وجود دارد .این شیارها با هدایت آب از درن خود، باعث خنک شدن محور، روانسازی آن و خروج اجسام و ذرات از فضای bearing را بر عهده دارند .شرکت های داخلی از لاستیک های موجود در بازار جهت ساخت bearing پمپ استفاده کرده اند .این ماده دارای اصطکاک بالایی با محور پمپ می باشد و پس از مدتی بر اثر فشرده شدن، تلرانس آن افزایش پیدا کرده و منجر به ارتعاش پمپ و در نهایت شکست محور آن می شود. جریان برق مصرفی الکتروموتور پمپ سکوی سلمان در هنگام استفاده از bearings لاستیکی ۲۲۰ آمپر و در زمان بکارگیری bearing و wear ring پلیمری به۱۲۰ آمپر کاهش پیدا کرد .این موضوع دلیل بر کاهش ضریب اصطکاک محور پمپ با bearings در حالت دوم میباشد [۳].

در bearings اصلاح شده، بجای استفاده از لاستیک، از نوعی پلیمر ویژه استفاده شد. این ماده بر اثر ضربات محور پمپ، فشرده نمی شود و در نتیجه تلرانس خود را حفظ می کند. علاوه بر این ضریب اصطکاک آن با محور فولادی پائین بوده و دارای شیارهایی برای عبور آب می باشد. پلیمر مزبور تا حدودی انعطاف پذیر است و بنابر این می تواند بخوبی خود را با misalignment اندک موجود در طول محورها مطابقت می دهد. این پلیمر را می توان در داخل غلاف فلزی(فولاد زنگ نزن) قالبگیری کرد و یا بصورت لوله تهیه شده و سپس عملیات تراشکاری بر روی آنها انجام شود. در حالت اول، bearing توسط مکانیزم press fit در محل مربوطه (retainer) قرار می گیرد .در حالت دوم، bearing با مکانیزم سرد کردن (قراردادن آن در یخچال و سرد کردن آن تا حدود 15^{o} C) و یا با بکار گیری چسب های مخصوص، در محل خود نصب می شود. [۴]

۲-۴ بالانس نبودن پره های فولادی پمپ

بالانس پره های پمپ سکوی سلمان دارای مشکل بالانس حجمی و وزنی بودند. به عبارت دیگر فضای موجود در بین پره ها با یکدیگر مساوی نبود و همچنین از لحاظ بالانس وزنی نیز دارای مشکل بودند. با مساوی گرفتن حجم بین پره ها در روند ساخت پره های کامپوزیتی، مشکل عدم بالانس حجمی برطرف گردید [۱] بالانس وزنی پره ها بصورت استاتیکی و دینامیکی انجام شد. در حالت بالانس دینامیکی، ابتدا پره بر روی محور مربوطه نصب می شود و سپس محور مذکور بر روی دو تیغه نوک تیز قرار داده می شود. در صورتیکه وزن ناحیه مشخصی از پره بیش از نواحی دیگر باشد، محل مذکور به طرف پائین حرکت خواهد کرد. با اضافه کردن وزنه در سمت مقابل و یا سنگ زدن محل مذکور، بالانس استاتیکی ایجاد می شود. از آنجائیکه پره ها در داخل پمپ دارای حرکت چرخشی هستند بنابر این بالانس دینامیکی نیز باید بر روی آنها انجام شود. به عبارت دیگر دقت بالانس دینامیکی بیشتر از بالانس استاتیکی می باشد. در رابطه با بالانس دینامیکی دستگاه های ویژه ای وجود دارد که در آن پره با سرعت مورد نظر به گردش در می آید. سپس دستگاه مزبور مقدار عدم بالانس و محل آنرا مشخص می کند. در این پروژه پره های پمپ با سرعت ۱۰۰۰ دور بر دقیقه بالانس دینامیکی شدند. محل هایی که نیاز به افزایش وزن داشتند با سوراخکاری و اصافه کردن وزنه های فلزی در داخل مواد کامپوزیتی، بالانس شدند [۵]

۲-۵ استفاده از مواد نامناسب

همانطور که قبلا اشاره شد، یکی از مشکلات پمپ های سکوی سلمان، بکارگیری مواد نامناسب در ساخت آنها بوده است. شوری آب دریا، پائین بودن مقاومت ویژه آن و تزریق محلول سدیم هیپوکلریت، موجب تشدید خوردگی در پمپ های مذکور شده است. در این رابطه می توان از خوردگی casings، پره ها، wear rings، bearing و شکست line shafts نام برد [۱] برای جلوگیری از خوردگی-سایشی در casing، این قطعات از نوعی فولاد زنگ نزن مقاوم به سایش ریخته گری گردید.

خوردگی wear ring در قسمت قبلی توضیح داده شد .این موضوع سبب افت راندمان خروجی پمپ و افزایش پدیده کاویتاسیون و ایجاد لرزش در پمپ خواهد شد .با بکارگیری wear ringو bearing پلیمری، خوردگی آنها برطرف

گردید. [۸] همانطور که اشاره شد، عملکرد خوب wear ring موجب کاهش کاویتاسیون در پمپ ها خواهد شد ولی موجب برطرف شدن کامل آن نخواهد شد .برای مقابله با این پدیده، از پوشش کامپوزیتی شامل رزین اپوکسی و فیلر سیلیکون کاربید و ذرات شیشه استفاده شد .در قسمت بعدی روش اعمال این پوشش اشاره شده است.

۲-۶ سایش و کاویتاسیون در پره پمپ

یکی از عیوب متداول پمپ های سکوی سلمان بروز پدیده کاویتاسیون در Casings و پره ها می باشد. معمولا در پمپ ها تا حدودی بروز پدیده کاویتاسیون اجتناب ناپذیر است. در این رابطه اختلاف فشار ایجاد شده توسط پره پمپ منجر به تشکیل حباب و ترکیدن آن بر روی سطح پره های پمپ و دیفیوزرهای Casing آن می شود. از آنجائیکه بیشترین اختلاف فشار ایجاد شده در Stage آخر پمپ حاصل می شود بنابر این بیشترین آسیب کاویتاسیون در Stage آخر رخ می دهد. اختلاف فشار ایجاد شده منجر به تشکیل حباب و ترکیدن آنها در سطح پره های پمپ و Casing آنها می شود. بر اثر اینکار فشاری در حدود 10^6 psi به سطح پره وارد می شود. چنین فشاری می تواند باعث آسیب زدن به پره پمپ وCasing آن و در مواردی منجر به انهدام قابل ملاحظه در آنها شود. اگر چنانچه سطح قطعه علاوه بر داشتن مقاومت سایشی،تا حدودی دارای خاصیت ارتجاعی باشد در آن صورت می تواند با تغیر فرم الاستیکی خود، بخوبی در برابر پدیده کاویتاسیون مقاومت کند [۱۱]

با عنایت به اینکه مقادیر قابل ملاحظه ای پره پمپ از جنس فولاد زنگ نزن۳۰۴ ریخته گری شده بود،قرار شد طرحی برای استفاده از پره های موجود نیز ارائه شود .بنابر این نمونه هایی از پره ها با اعمال پوشش مناسب،در مقابل سایش و کاویتاسیون مقاوم شدند و جهت آزمایش در شرایط واقعی بر روی یکی از پمپ ها نصب شدند .پس از یک ماه پره ها از پمپ بیرون آورده شد و مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج بدست آمده، هیچگونه خوردگی و یا کاویتاسیون بر روی پره ها مشاهده نشد .در این روش، سطح پره های پمپ و Casing آنها توسط محلول های شیمیایی آماده سازی سطحی گردید و توسط رزین اپوکسی به همراه فیلر سیلیکون کاربید و ذرات شیشه پوشش داده شد .علاوه بر این این پوشش باعث افزایش صافی سطح پره ها و کاهش ضریب اصطکاک آب با آنها و در نتیجه افزایش راندمان پمپ خواهد شد.

روش دیگر جلوگیری از خوردگی، سایش و کاویتاسیون در پمپ ها بکار گیری پره های کامپوزیت پلیمری می باشد. در این حالت الیاف بلند شیشه بایستی پس از آغشته شدن با رزین اپوکسی در اطراف محور اصلی پره پیچیده شود و سپس به درون پره ها گسترش یابد. به عبارت دیگر با توجه به اینکه پمپ های سکوهای دریایی دارای دبی خروجی بالایی هستند، بنابر این پره پمپ بایستی دارای استحکام مکانیکی و دوام مناسب باشد. پره های کامپوزیتی که شامل الیاف کوتاه شیشه به همراه رزین اپوکسی می باشد در شرایط دشوار پمپ های مکش آب شور نمی تواند کارآیی خوبی داشته باشد. امکان ریخته گری مخلوط رزین اپوکسی و الیاف کوتاه شیشه در درون قالب وجود دارد ولی امکان ریخته گری رزین اپوکسی به همراه الیاف بلند شیشه وجود ندارد. علاوه بر این الیاف شیشه بایستی بطور مناسب در داخل پره ها و محور پمپ winding شود و بنابر این امکان بکارگیری قالب های معمولی جهت ساخت آنها وجود ندارد .در این روش با بکارگیری قالب های باز که شامل چندین بخش قابل جدا شدن می باشد و در چندین مرحله عملیات winding و قالب گیری پره‌ها بطور دستی انجام شد. [۹] وزن پره های کامپوزیتی حدود $\frac{1}{3}$ پره های فولادی می باشد و این موضوع سبب کاهش آسیب های وارده به محور پمپ و bearingهای آن خواهد شد .

برخی شرکت های خارجی پره های پمپ را از نوعی کامپوزیت پلیمری که شامل یک رزین ترموست (معمولا بر پایه اپوکسی) بهمراه فیلر یا الیاف مسلح کننده کوتاه می سازند. این مواد در بازار تحت نام Plastic tooling material بفروش می رود. با توجه به شرایط حاد حاکم بر پمپ های سکوهای دریایی، چنین پره هایی نمی توانند در این شرایط دوام بیاورند و معمولا در پمپ های کوچک و با دبی کم بکار می روند. پره پمپ های سکوهای دریایی بایستی به منظور داشتن استحکام لازم دارای الیاف بلند شیشه باشد.

۷-۲ بروز خوردگی SCC در Column pipeپمپ

Column pipe پمپ های سکوی سلمان از ورق رول شده فولاد زنگ نزن 316 و با ضخامت یک سانتی متر ساخته شده اند .در این حالت لایه خارجی لوله تحت تنش های کششی قرار دارد و بنابر این در حضور گاز کلر لوله های مزبور مستعد به خوردگی SCCهستند .تلفیق تنش های کششی و اثرات محیط خورنده باعث بروز ترکهایی در لوله های پمپ شده است .این ترکها به وسیله جوشکاری ترمیم شده است .عملیات جوشکاری نیز باعث بروز تنش های

کششی جدید در سطح خارجی لوله می شود و بنابر این موجب تشدید تشکیل ترکهای SCC شده است .از آنجائیکه تزریق محلول سدیم هیپوکلریت اجتناب ناپذیر است، بنابرلوله های پمپ از جنس فولاد ساده کربنی با پوشش داخلی و خارجی ساخته شد .در این پروژه داخل لوله ها به کمک لاینر پلی اتیلن پوشش داده شد. در این روش، لوله پلی اتیلن توسط سیم کابل و جک های هیدرولیک قوی کشیده می شود. بر اثر اینکار قطر خارجی لوله پلی اتیلن کمی کوچک تر از قر داخلی لوله فولادی خواهد شد و در نتیجه لوله مزکور داخل لوله فولادی می شود .پس از وارد شدن لوله به درون لوله فولادی، تنش کششی خذف می شود و لاینر پلی اتیلن سعی می کند به حالت اول خود برگردد و در داخل لوله لاینر آب بند پلی اتیلن را بوجود می آورد. [۱۲]

به منظور اعمال کشش، دو طرف لاینر پلی اتیلن، اتصالات مکانیکی نصب می شود. برای مقابله با خوردگی در سطح خارجی لوله ها سطوح مزبور توسط سه لایه رزین اپوکسی و الیاف شیشه پوشش داده شد.

۳-نتیجه گیری

بر اساس نتایج بدست آمده، بکارگیری مواد پلیمری در پمپ های آب شور سکوهای دریایی موجب افزایش طول عمر و راندمان آنها خواهد شد .در این رابطه می توان از تاثیر قابل توجه پره های پلیمر کامپوزیتی، bearing و wear ring پلیمری نام برد .همچنین بکارگیری پوشش های کامپوزیت پلیمری بر روی پره های فلزی پمپ و casing باعث بالا رفتن مقاومت آنها در برابر سایش و کاویتاسیون می شود.

۴- منابع

1 A. Aghajani,"Internal Pipeline Corrosion Protection",12th International Congress on Marine Corrosion and Fouling, 2004
2 Gustin, Jon P. Bloch Joseph F. Gustin, "Pump User's Handbook", Marcel Dekker Inc, 1996
3 Sturtevant, Thomas, "Introduction to Fire Pump Operations", Delmar Pub., 1986

4 Igor J. Karassik, Joseph P. Messina, Paul cooper, Charles C. Heald., “Pump Handbook”, McGraw-Hill Professional, 2000

5 Val S. Lobanoff Robert R. Ross, “Centrifugal Pumps: Design and Application”, Amer Water Works Assn second edition, 1992

6 Jones, Garr M., Sanks, Robert L., Tchobanoglous, George, “Pumping Station Design”, Butterworth-heinemann, 1987

7 Volk, Michael**,** ”Pump Characteristics and Applications”, Marcel Dekker Inc., 1990

8 Joseph V. Koleske,”Paint and Coating Testing Manual”, ASTM Intl.,1987

9 Edwards, Joseph,”Coating and Surface Treatment Systems for Metals”, Elsevier Science Ltd, 1990

10 Ken Beazley, Paperback,”Surface Coating”, Pira International, Technology, Material Science, 1985

11 Roger N N. Rothon, ”Particulate-Filled Polymer Composites, Longman Pub Group, 1995

12 Liyong Tong Adrian P. Mouritz Michael K. Bannister Atholl S. Oakeley M. Bannister,”3D Fibre Reinforced Polymer Composites”, Elsevier Science Ltd, 1991