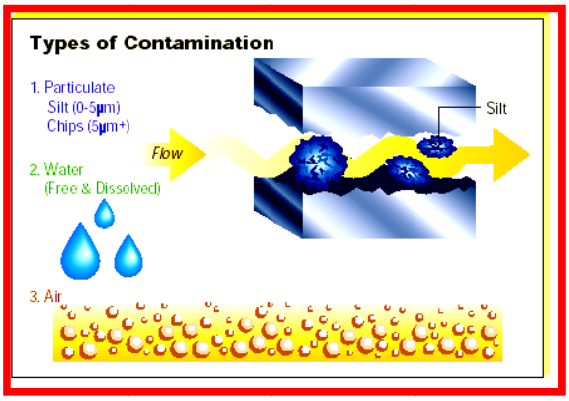
## منابع آلودگی در روغن  و آثار آن بر روی سیستمهای هیدرولیک و روانکار

انواع آلودگی در روغنهای هیدرولیک و روانکار به سه دسته قابل تقسیم می باشند:



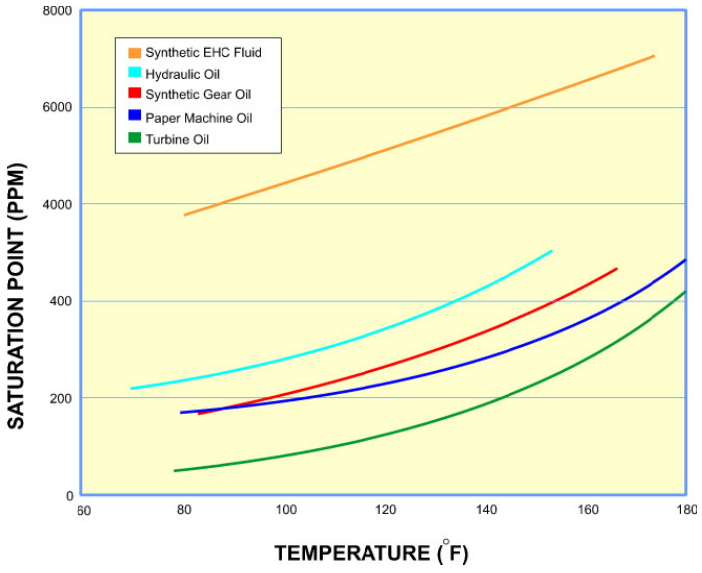

- **ذرات جامد**
- **آب**
- **هوا**

ذرات جامد که مخربترین نوع آلودگی در ستمهای روانکار و هیدرولیک محسوب می شوند،به دو دسته ذرات بزرگتر از ۵ میکرون و کوچکتر از ۵ میکرون تقسیم می شوند. آنچه باعث آسیب به سیستم می شود، حضور ذرات بزرگتر از ۵ میکرون می باشد. اگر چه ذرات ریز نیز در دراز مدت به صورت رسوب در قطعات و اجزا ته نشین شده و باعث صدمه به آنها می شوند.

آب که بعد از ذرات، دشمن جدی سیستمهای هیدرولیک و روانکار می باشد، به دو صورت آزاد و محلول در روغن وجود دارد:

- ✓ آب محلول: مقدار این آب، کمتر از مقدار اشباع روغن در یک درجه حرارت و فشار معین می باشد.
- ✓ آب آزاد یا امولسیون: با رسیدن مقدار رطوبت به نقطه اشباع، مازاد آن به صورت امولسیون یا آزاد ظاهر می شود.

با نوسانات دما، مقدار آب آزاد افزایش یافته و رنگ روغن کدر می شود.
نقطه اشباع روغن از رطوبت، تابع درجه حرارت و فشار مي باشد. با افزايش دما، حد اشباع روغن از رطوبت افزايش مي يابد.
در نمودار زير، وابستگي حد اشباع بعضي روغنهاي صنعتي به درجه حرارت قابل بررسي است.



آب محلول خطرناک نیست. حضور آب به صورت امولسیون یا آزاد در داخل روغن برای سیستمهای هیدرولیک و روانکار زیانبار می باشد.

هوا نیز به دو صورت محلول و آزاد(حباب) در روغن وجود دارد. هوای آزاد یک جزء آلاینده محسوب می شود.

آلودگی شیمیایی در داخل سیستم و از واکنشهای شیمییایی وتخریب روغن حاصل می شوند.
در تولید آلودگیهای شیمیایی، شرایط محیطی نظیر درجه حرارت، تنشهای مکانیکی ومقدار آلودگیهای فیزیکی موثر است. با کنترل آلودگیهای فیزیکی، آلودکیهای شیمییایی نیز کنترل خواهد گردید.

## منابع آلودگی در سیستم های هیدرولیک و روانکار

**«ذرات جامد»**

- ذرات موجود در روغن نو
- حتي يک روغن تازه و کارنکرده هم تميز نيست و بطور معمول داراي درجه آلودگي ISO 19/16 (NAS class 10) مي باشد. اگرچه در روغنهاي توليد شده توسط فرايندهاي کاملتر پالايش شامل فيلتراسيون ، اين مقدار کمتر خواهد بود. در مدت حمل و انبارداري نيز ذرات به داخل روغن نفوذ مي کنند (در اثر آلودگي ظروف حمل و نقل، پديده تنفس بشکه و يا تانکر حمل ونقل و از طريق درزها). بنابراين روغن تازه و کارنکرده بايد فيلتر شود ، بطوريکه مقدار مورد نياز استانداردهاي موجود را تامين نمايد. در غير اينصورت آلودگيها توسط روغن تازه به سيستم وارد مي شوند.
- ذرات به جا مانده از مراحل ساخت سيستم جديد
- آلودگي هاي نوکار يا آلودگي هاي اوليه در طي مراحل ساخت ، ترکيب و تست ايجاد مي شوند.
- ذرات جوشکاري فلز ، براده هاي ماشينکاري، تکه هاي نوار تفلون (يا ساير درزبندها)، گرد وخاک و ساير آلودگيها، بايد در مرحله اوليه راه اندازي يک سيستم هاي هيدروليک توسط يک فيلتر با کيفيت بالا کنترل گردند. در اين مرحله بايد سيستم وقطعات را به طور مجزا تميز و شستشو نمود.(flushing) و نهايتا اجازه داد تا روغن بين سيستم هيدروليک و سيستم فيلتراسيون تا رسيدن به سطح تميزی مطلوب، گردش نمايد. در غير اينصورت اين دسته از آلودگيها بيشترين آسيب را به سيستم هيدروليک وارد خواهند نمود.
- گرد و خاک و ذرات محيطي
- ذرات موجود در هواي محيط به داخل روغن نفوذ مي کنند. هوای آلوده به ذرات ضمن تنفس مخازن از طريق درزبندها ، هواکشهاي مخازن ، ميله هاي مارپيچي سيلندر وارد سيستم هيدروليک و روانکار مي شوند. براي کاهش ورود اين نوع از آلودگي ها رعايت نکات زير بسيار مفيد است:

نصب فيلتر هوا در هواکش مخزن، آببندي کامل (هر نقطه از سيستم که روغن نشت کند مي تواند مورد هجوم آلودگي قرار گيرد)، کنترل سطح روغن در مخزن (عدم وجود سطح مناسب در مخزن ، علاوه بر ورود انواع آلودگي، مشکلاتي نظير کاويتاسيون پمپ ، افزايش دما و افزايش آلودگی هوا و در نتيجه اکسيداسيون روغن را نيز بهمراه خواهد داشت.)

- ذرات فلزي ناشي از سايش سطوح و قطعات

شيرها، لوله ها، سيلندر، مبدل حرارتی و مخزن در سيستم هيدروليک در معرض ساييدگي قرار دارند. سايش در جريان سيال تحت فشار و سرعت بالا در اثر برخورد بين سطح و سيال اتفاق مي افتد. عوامل محيطي موثر بر سايش عبارتند از:

سرعت نسبي سيال : با افزايش سرعت حرکت سيال ، سرعت سايش افزايش مي يابد. از اينروست که کنترل و حذف آلودگي در سيستم هاي هيدروليکي تحت فشار و سرعتهاي بالا، اهميت بيشتري دارد.

ويسکوزيته روغن : در انتخاب روغن مناسب مي بايست ويسکوزيته روغن را مورد توجه قرار داد. بطور کلي ويسکوزيته روغن هيدروليک بايد تا حد ممکن براي کاهش مصرف انرژي پمپ، پايين باشد. همچنين بايد به اندازه اي بالا باشد که بتواند فيلم روانکاري را بر روي سطوح براي جلوگيري از سايش تشکيل دهد. لذا استفاده از روغن مناسب مطابق پيشنهاد سازنده دستگاه بسيار اهميت دارد.

حضور ذرات جامد : اين ذرات با برخورد به سطوح ، عامل اصلي سايش در سيستم هاي هيدروليک هستند. بخصوص ذرات ريز کمتر از ۵ ميکرون بيشترين آسيب را وارد مي کنند. با توليد ذرات جديد سايشي ، سايش شدت مي يابد.

- ذرات ناشي از زنگ زدگی و خوردگی شیمیایی : عوامل خوردگي و توليد ذرات زنگ در سيستم هاي هيدروليک عبارتند از آلودگي آب و مواد اسيدي ناشي از اکسيداسيون.
- ذرات وارد شده به سیستم در مدت سرویس، تعمیرات و تعویض قطعات : موقعي که سيستم براي بازرسي يا تعمير چک شده و قطعات آن از يکديگر مجزا مي شوند، مورد هجوم آلودگي ها و ذرات قرار خواهد گرفت. لذا در مدت سرویس و تعمیرات و همچنین تعویض قطعات ، باید دقت نمود که سیستم از آلودگي ها حفظ شود و عملیات فلاشینگ برای قطعه تعویضی و در تعمیرات اساسی برای سیستم تکرار شود.

## آب »

- آب موجود در روغن نو
- این آب توسط ظروف حمل و نقل آلوده و از طریق تنفس بشکه یا تانکرهای حمل و نقل به سیستم وارد می شود.از اینروست که استفاده از سیستم فیلتراسیون با توانایی چذب آب در هنگام پر نمودن مخزن توصیه می شود.
- جذب رطوبت محیط و چگالش

هوای آلوده به رطوبت ضمن تنفس مخزن از نقاط باز وارد سیستم می شود. . از این رو است که توصیه مي شود فيلتر نصب شده در هواکش مخزن حتما قادر به جذب رطوبت باشد.ميزان جذب رطوبت در روغن به دما ،مقدار مولکولهای قطبی روغن، رطوبت محيط و آببندي سيستم بستگي دارد.

تغييرات دما و فشار باعث ايجاد چگالش رطوبت و توليد آب در روغن مي شود.با کاهش دما، حد اشباع روغن کاهش يافته و آب محلول به شکل آب آزاد(امولسيون) در می آيد و رنگ آب کدر می شود. با نوسانات دما، مقدار آب آزاد افزايش يافته و روغن کدرتر می شود.

نقطه اشباع در يک سيال هيدروليک در دمای معمول، حدودا (.03%)300 ppm می باشد.آنچه باعث آسيب به سيستم هيدروليک می شود، حضور آب به صورت آزاد يا امولسيون می باشد. آب محلول، خطر ناک نيست.

# آثار ناشي از حضور آلودگي (ذرات و آب) در سيالات هيدروليک

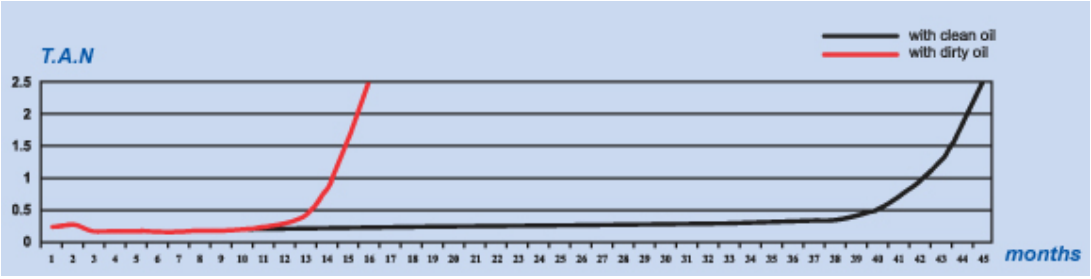
## تخريب روغن در اثر اکسيداسيون و افزايش اسيديته

اکسيداسيون در حضور عوامل اکسيژن هوا، گرما و آب رخ مي دهد. در دماهاي بالاي ۵۵ درجه سانتي گراد به ازاء هر ۱۰ درجه افزايش دما ، افت خواص روغن به ۵۰% افزايش مي يابد. اکسيداسيون روغن توسط ذرات فلزي که بمانند يک کاتاليزور بسيار فعال براي اين فرايند رفتار مي کنند، به شدت افزايش مي يابد.

حضور ذرات فلزي،آب و هوا باعث اکسيداسيون روغن می شود. اکسيداسيون روغن ضمن اينکه عامل تخريب و از بين رفتن خواص روغن، تغيير ويسکوزيته و افزايش اسيديته روغن است، با توليد محصولاتي نظيررزين و لجن سبب بروز مشکلاتي در عملکرد سيستم خواهد شد.

عدد اسيدي کل (T.A.N) ، پارامتر مناسبي در تعيين شدت اکسيداسيون روغن است. مواد اسيدي بعنوان يکي از محصولات اکسيداسيون ، سبب افزايش عدد اسيدي مي گردد.

مقايسه شدت افزايش عدد اسيدي در روغن تميز و آلوده




اثر آب بر روي سرعت اکسيداسيون و افزايش اسيديته روغن توسط نتايج تستهاي ذيل بوضوح مشخص مي گردد.

| T.A.N | زمان | مس | آب | تست |
|---|---|---|---|---|
| ۰/۱۷ | ۳۵۰۰ ساعت | ندارد | ندارد | ۱ |
| ۰/۸۹ | ۳۰۰۰ ساعت | دارد | ندارد | ۲ |
| ۱۱/۲۰ | ۴۰۰ ساعت | دارد | دارد | ۳ |

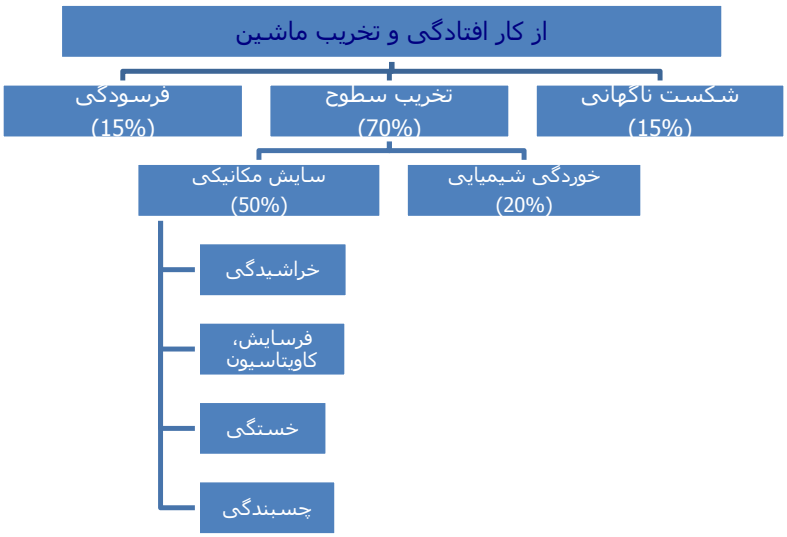
نقش مواد افزودني ضد اکسيداسيون :

واکنشهاي اکسيداسيون بوسيله ادتيوهاي ضد اکسيداسيون خنثي مي شود. اين مواد طي يک فرايند پليمريزاسيون به ذرات فلزي پيوسته و از تماس مستقيم بين روغن و ذرات فلزي ممانعت بعمل مي آورند. اين فرايند تا آنجائي ادامه پيدا مي کند که ادتيو در روغن وجود دارد ولي بعد از آن ذرات جديد فلزي در روغن باقي خواهند ماند. بخصوص ذرات ريز

به علت سطح زياد (ذرات ريزتر داراي تعداد بيشتر و بنابراين سطح بزرگتري در واحد حجم هستند) نقش مهمي را در فرايند اکسيداسيون ايفا مي کنند.

## تخریب سطوح با سایش مکانیکی و خوردگی شیمیایی

تخریب سطوح شامل سایش مکانیکی و خوردگی شیمیایی که ۷۰ درصد از کارافتادگی و تخریب ماشین را سبب می شود،
ناشی از حضور آلودگی ذرات و ةب در روغن هیدرولیک می باشد.




در این نمودار که پس از بررسیهای صورت گرفته توسط Dr. Rabinovics ارائه شده است، ۱۵ درصد سهم از کارافتادگی ماشین متعلق به فرسایش طبیعی سیستم، ۱۵ درصد مربوط شکست ناگهانی ناشی از نقصان و ضعف در ساختار متالوژیکی و بقیه مربوط به تخریب سطوح است.

تخریب سطوح ناشی از خوردگی شیمیایی و سایش مکانیکی متاثر از حضور آلودگی در سیال روانکار بوده که به شرح ذیل قابل بررسی است.

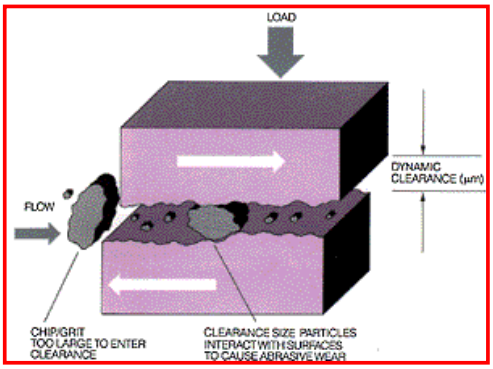
## سایش مکانیکی در سیستمهای هیدرولیک و روانکاری

### خراشیدگی Abrasive wear

خراشیدگی در اثر جریان سیال بر روي سطوح و برخورد ذرات موجود در سیال با سطوح روي مي دهد. بنابراین با افزایش سرعت سیال، تلاطم و برخورد ، سرعت سایش افزایش مي یابد. از اینرو است که در سیستم هاي هیدرولیک تحت فشار و سرعتهاي بالا ، استفاده از سیال تمیزتر پیشنهاد می شود۹۵% ذرات در اغلب روغنها داراي اندازه کمتر از ۱۰ میکرون مي باشند.

خطرساییدگي ناشي از این ذرات ، بیشتر از ذرات درشت است. چراکه این ذرات قادرند در منافذریز، لقي ها و بین سطوح فلزي متحرک نفوذ کرده و با درگیر شدن بین دو سطح، خراشیدگی و تخریب یکي از سطوح یا هر دو سطح را موجب شوند.

خراشیدگی باعث تغییر اندازه لقی ها و از بین رفتن تلورانس،افزایش نشتی و کاهش بازدهی شده و در صورت عدم کنترل سبب تشدید زنجیره ای فرایند، افزایش ارتعاشات و تخریب اجزا خواهد گردید.

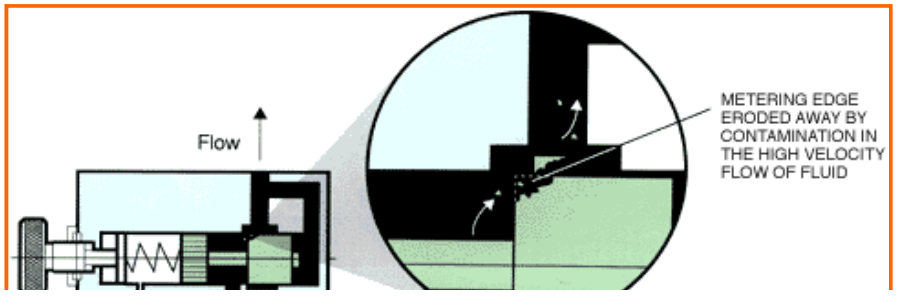



### فرسایش Erosive wear در servo valve, proportional valve , control pump

در جریان سیال تحت فشار و سرعت بالا در سیستمهای هیدرولیک، برخورد ذرات با سطوح اجزا، سبب جداسازی ذرات فلزی از سطح می گردد.با افزایش زاویه برخورد، فرسایش افزایش می یابد.لذا اجزای دارای لبه ، زانویی ها و... بیش از سایرین در معرض خطر قرار دارند.

شیرهای هیدرولیک به خصوص شیرهای سولنوئید،پراپرشنال، سروو که در طراحی و ساخت سیستمای هیدرولیک جدید از آنها استفاده شده است،آسیب پذیر ترین اجزا در برابر این نوع سایش می باشند. بنابراین خیلي تعجب آور نیست که اغلب سازندگان این نوع اجزاء استفاده از روغن با سطح تمیزی خاص خود را الزامي مي نمایند.

فرسایش علاوه بر تولید ذرات جدید باعث به هم خوردن اندازه قطعات، افزایش نشتی، کاهش بازدهی و ایجاد اختلال در کنترل سیستم می شود.

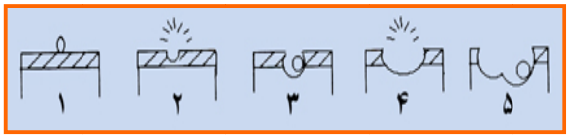


### سایش کاویتاسیون Cavitation wear

کاویتاسیون نوعی فرسلیش است با این تفاوت که عامل اصلي در خوردگي کاویتاسیون ، وجود آب آزاد یا امولسیون در داخل سیال است.

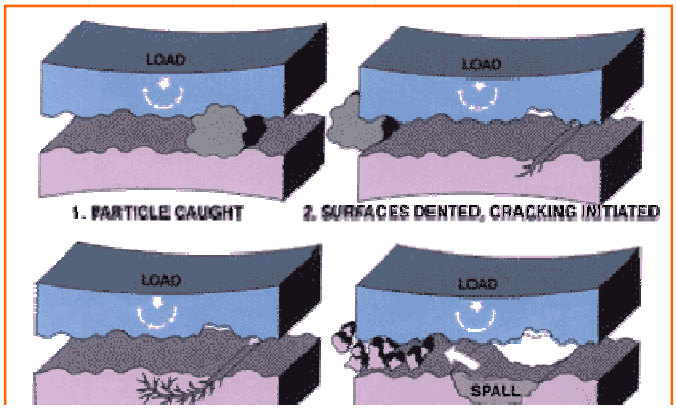
اجزاء متحرک در ماشین آلات هیدرولیکي بطور متناوب تولید فشار و خلاء مي نماید. در هنگام خلاء ، آب و رطوبت موجود در روغن ضمن تبخیر آني بطور قابل توجهي (۱/۵۰۰۰ در ۷۰ درجه سانتي گراد) در فاز بخار افزایش حجم مي یابد و در فشار، حبابهاي مایع تشکیل مي شوند. این حبابها با ایجاد تنش و اعمال ضربه، باعث ایجاد حفره ریز بر سطوح و اجزاء خواهند گردید. با تداوم این فرایند ،سایش به شدت افزایش مي یابد. کاویتاسیون سبب از بین رفتن پوشش محافظ ایجاد شده توسط مواد افزودني ضد سایش و تولید ذرات سایشي جدید خواهد گردید.

در واقع در این نوع خوردگي که در اثر تغییرات فشار هیدرودینامیک روي مي دهد، آب به سطوح فلزي حمله مي کند و باعث تشکیل جوانه خوردگي مي گردد.



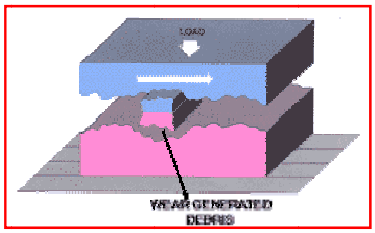

### خستگی Fatigue wear

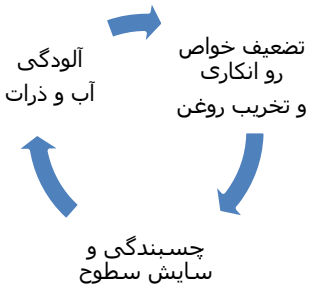
زمانیکه یك ذره به منطقه بار بین دو سطح متحرک وارد مي شود، به علت داشتن سطح مقطع کم، باعث ایجاد تنش های موضعی شدید به بزرگي تا 10000 psi در آن نقطه مي شوند. تداوم این تنش ها باعث ایجاد ترکهای ریز و فرورفتگیها در سطح فلز می شوند. وجود ذرات در پیشروي ترکها بسیار موثر است. چرا که ذرات (گوه) منجر به تنشهاي بالایي در راس ترك مي گردد. زیرا راس ترك یك شیار تیز است که عامل تجمع تنش مي باشد. بدین ترتیب در این نواحي تغغیر شکل پلاستیکي صورت مي گیرد که باعث تغییر خواص ماده مي شود. از طرفي با افزایش پهناي دهانه ترکها، سطح مقطع فلز کم شده و مقدار تنش در واحد سطح فلز افزایش مي یابد. افزایش تنش به حد تنش تسلیم، به شکست و گسیختگي مکانیکي فلز مي انجامد. البته زمان در این نوع خوردگي پارامتر مهمي مي باشد. زیرا خسارات فیزیکي مهم در مراحل نهایي صورت مي گیرد. آلیاژهایي با استحکام بیشتر نسبت به ایجاد ترك مستعدتر مي باشند..پدیده خستگی در یاتاقانها بیش از سایر سیستمهای رو انکاری رخ می دهد. آب مهمترین عامل در خستگی و انهدام یاتاقانها می باشد.آب به علت داشتن مولکولهای کوچک به سرعت در ترکها نفوذ کرده و در آنجا شکسته شده و هیدروزن اتمی آزاد می کند.هیدروزن به ساختار فلز نفوذ کرده و باعث خستگی و شکست آن می گردد در دنده ها، این خوردگي بیشتر در خط تماس دندانه ها در هنگام جابجایي بار رخ مي دهد..در این نوع سایش، حضور ذرات حاصل از سایش در روغن کمتر از سایر انواع سایشها به چشم می آید.



## چسبندگی Adhesive wear

در سیستمهای رو انکاری نظیر دنده ها و یاتاقانها، تحت شرایط بار، سرعت پایین و عدم تشکیل لایه رو انکار بین دو سطح فلزی، برآمدگی ها و فرورفتگیها موجود در سطح موقتا به یکدیگر جوش خورده و در حرکت بعدی این ذرات که از جنس اکسید های فلزی می باشند، از سطح جدا شده و به صورت ذرات آلاینده جدید در روغن حاضر می شوند .این نوع سایش به صورت حفره هایی که به وسیله محصولات خوردگی احاطه شده است، ظاهر می شود و باعث کنده شدن سطح، از بین رفتن نلورانس و لق شدن اجزایی که با هم در تماس می باشند، می شود. همچنین به دلیل لق شدن، ارتعاشات بیشتری به وجود می آید که باعث شکست فلز و تخریب قطعات می گردد.



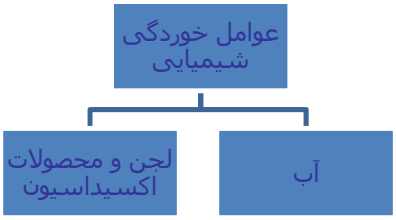



*نقش مواد افزودني ضد سايش:*

افزودنيهاي ضد سايش ، مواد شيميايي خاصي هستند كه به روغن افزوده مي شوند. اين مواد پس از قرار گرفتن در سرويس اكسيد شده و درجه خورندگي سيال را به شدت افزايش مي دهند. بدين ترتيب سطوح در تماس ، به سرعت دچار خوردگي يكنواخت مي شوند. محصول خوردگي باعث ايجاد لايه محافظ بر روي سطح خواهد گرديد. اين لايه بايد بصورت كامل تشكيل شده و ضخامت كافي داشته باشد.

چنانچه مقدار ذرات در روغن از مقدار مجاز بيشتر باشد، مقاومت لايه محافظ با افزايش هجوم ذرات كاهش مي يابد و بدين ترتيب آنقدر اثرات سايشي افزايش مي يابد كه ذرات موجود در سطح كنده مي شوند. در اين صورت سطح دچار خوردگي سايشي موضعي خواهد گرديد. سايش موضعي مكانيزم پيش رونده داشته و كنترل آن بسيار مشكل است. ذرات حاصل از سايش، خود منبع بزرگي براي پيشرفت سايش و سايش جديد خواهند بود.

## خوردگی شیمیایی سیستمهای هیدرولیک و روانکاری Rust & Corrosion




همانطور که گفته شد، انواع آلودگی در روغن سبب اکسیداسیون و از بین رفتن خواص روانکاری روغن و تشکیل لجن و مواد اسیدی خواهد شد که در مخازن،لوله ها و سایر قطعات سیستم ته نشین می شوند.خوردگی شیمیایی ماحصل نقصان خواص روغن به خصوص ویسکوزیته و حضور آب آزاد در داخل روغن می باشد.

## موارد بررسی علل فرسایش

در جدول زير نتايج آناليزهاي انجام شده كه نشاندهنده تاثير آلودگي سيليس بر روي سايش سيستم هاي هيدروليک ماشين آلات راهسازي است ديده مي شود. ماشين حفاري داراي 9 ppm و دوزر داراي 21 ppm ، سيليس است. بالاتر بودن مقدار سيليس و ذرات خاک در دوزر علت اصلي بالا بودن مقادير فلزات سايشي است.

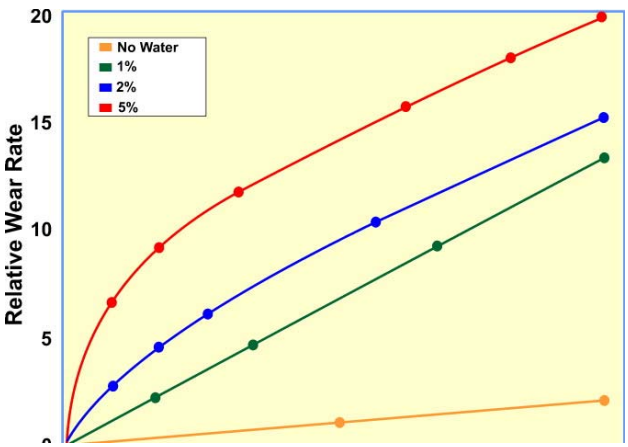
| | Si | Na | Fe | Cu | Al | Cr |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Source | ppm | | | | | |
| Excavator | 9 | 5 | 5 | 3 | 0 | 2 |
| Dozer | 21 | 11 | 10 | 8 | 10 | 2 |

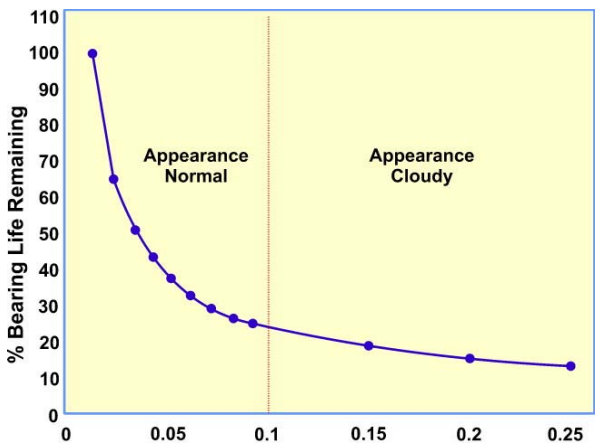
(اين نتايج توسط آناليزهاي طيف سنجي حاصل شده است. در اين روش عناصر موجود در روغن (شامل عمدتا فلزات و آلياژهاي با اندازه كمتر از ۵ ميكرون) بر حسب (ppm) اندازه گيري مي شود. از اين روش در condition monitoring سيستم استفاده مي شود.)

| | Na | Si | Fe | Cu | Al | Cr |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Source | ppm | | | | | |
| Loader | 10 | 9 | 31 | 28 | 1 | 2 |
| Dozer | 3 | 4 | 5 | 4 | 1 | 1 |

همانگونه كه ملاحظه مي شود ، با وجود پايين بودن مقدار آلودگي ذرات خاک (سيليس) در هر دو نمونه ، بالا بودن مقدار آلودگي آب در لدر (كه توسط مقدار Na مشخص ميشود) باعث افزايش ذرات سايشي در سيستم هيدروليک اين ماشين گرديده است.

در شکل ذیل تاثیر حضور آب بر روی عمر یاتاقانها قابل بررسی است.



**نقصان مواد افزودنی**

- آب سبب اکسید شدن و از بین رفتن ادتیوهای ضد سایش در روغنهای هیدرولیک می شود.
- آب شرایط ایده آلی را برای رشد میکروارگانیسم ها به وجود آورده که باعث تخریب ادتیوهای روغن خواهد شد.
- ذرات فلزی سبب از بین رفتن ادتیوهای ضد اکسیداسیون می شود.