Case Study .شکست چرخ‌دنده نیروگاه

یک چرخ‌دنده روی شفت یک نیروگاه دچار شکست شده بود.

تنها چیزی که در اختیار ما قرار گرفت، قطعه‌ای بسیار کوچک از شکست بود؛ ابعادی در حد یک تکه سیگار.

با وجود محدود بودن نمونه، سطح شکست به‌دقت بررسی و مستند شد.

علائم ماکروسکوپی نشان می‌دادند که شکست از خانواده شکست‌های خستگی است.

اما این پاسخ کافی نبود.

چرا؟

چون در چرخ‌دنده:

- تاج دندانه عمدتاً درگیر تماس و سایش است.
- ریشه دندانه معمولاً ناحیه مهمی برای خستگی خمشی محسوب می‌شود.

بنابراین سؤال اصلی این بود:

چرا تاج چرخ‌دنده باید دچار شکست خستگی شود؟

پس از تهیه تصاویر کافی، ناحیه‌ای که علائم ماکروسکوپی خستگی را نشان می‌داد برای بررسی متالوگرافی انتخاب شد.

در متالوگرافی، **الگوی پروانه‌ای (Butterfly Pattern)** به‌وضوح مشاهده شد.

این شاهد مکانیزم را مشخص کرد:

Contact Fatigue

بنابراین «خستگی» فقط یک مشاهده اولیه بود؛ مکانیزم واقعی **خستگی تماسی** بود.

---

۷ .علت ریشه‌ای شکست

پس از تعیین مکانیزم، سؤال مهم‌تر مطرح شد:

چرا Contact Fatigue اتفاق افتاده بود؟

در بررسی سوابق مشخص شد که روغن سیستم خنک‌کاری تعویض شده بود.

به دلیل شرایط تحریم، روغن جایگزین خریداری شده بود.

روغن جدید نتوانسته بود عملکرد خنک‌کاری مورد نیاز را به‌درستی تأمین کند.

شاهد بسیار مهم:

- چرخ‌دنده قبلی حدود **یک دهه** بدون مشکل کار کرده بود.
- پس از تغییر روغن، شکست تقریباً بعد از **یک سال** اتفاق افتاده بود.

بنابراین زنجیره علت و معلول به شکل زیر شکل گرفت:

تغییر روغن ← کاهش عملکرد خنک‌کاری ← تغییر شرایط حرارتی/تماسی ← ایجاد Contact Fatigue → شکست چرخ‌دنده

این کیس یک اصل مهم را نشان می‌دهد:

ممکن است قطعه همان قطعه قبلی باشد، اما اگر شرایط زندگی آن تغییر کند، مسئله دیگر همان مسئله قبلی نیست.

---

۸ .ساخت مجدد؛ بدون تغییر غیرضروری

پس از مشخص‌شدن علت، چرخ‌دنده دوباره ساخته شد.

اما طراحی، جنس یا عملیات حرارتی آن بدون دلیل تغییر نکرد.
چرا؟
چون قطعه اصلی حدود یک دهه عملکرد موفق خود را اثبات کرده بود.
بنابراین هیچ دلیل مهندسی برای تغییر طراحی وجود نداشت.
اصل:
وقتی طراحی قبلی عملکرد خود را در سرویس واقعی اثبات کرده است، بدون دلیل مهندسی در آن دخالت نمی‌کنیم.
When an existing design has proven itself in service, we do not change it without an engineering reason.

---

۹ Follow-up .و محدودیت دسترسی

Follow-upبرای اعتبارسنجی نتیجه مهم است.
اما در این پروژه چون کاربرد در نیروگاه بود، امکان Follow-up مستقیم و مستمر وجود نداشت.
بنابراین پس از ساخت و نصب، چرخه بازخورد به این صورت بود:
ساخت → نصب → ورود به سرویس → انتظار برای بازخورد
در صورت بروز مشکل، نیروگاه اطلاع می‌داد.
بنابراین:
Follow-upالزاماً به معنی حضور دائمی نیست؛ مهم این است که چرخه بازخورد بعد از تحویل قطع نشود.