«پایش سلامت سازه با حسگر کشسانی پارچه‌ای-فنری» (Fabric-Spring Elastic Sensing)

بذارید کل این روش رو به‌صورت یه سیستم کامل و منسجم توضیح بدم:

۱. اجزای سیستم

جزء	نقش
پارچه/ورق لاستیکی	عنصر حساس به تغییر شکل؛ دور ستون میپیچه و کشیدگی رو منتقل میکنه
فنر	واسطه مکانیکی؛ کشیدگی پارچه رو به جابهجایی قابلاندازه‌گیری تبدیل میکنه
سنسور جابهجایی	میزان کشیدگی/جابهجایی فنر رو میخونه (مثلاً LVDT یا سنسور سیمکششی)
واحد پردازش	داده‌ها رو تحلیل میکنه و الگوی عادی/غیرعادی رو تشخیص میده

۲. نحوه نصب

۱. یه ورق لاستیکی/پارچه دورتادور ستون پیچیده میشه (مثل کمربند)

۲. یک سر پارچه به **سقف پایین** و سر دیگه به **سقف بالا** وصل میشه

۳. در مسیر، یه **فنر** بین پارچه و نقطه اتصال قرار میگیره

۴. یه سنسور جابهجایی به فنر وصل میشه

۳. اصل کار

- وقتی ستون **جابهجا، خم یا تغییر شکل** میده، پارچه کش میاد
- کشیدگی پارچه به **فنر** منتقل میشه
- فنر کشیده میشه و سنسور جابهجایی، میزان کشیدگی رو میخونه
- از روی کشیدگی فنر → جابهجایی ستون محاسبه میشه

۴. پردازش داده و تشخیص آسیب

۱. **فاز کالیبراسیون:** رفتار عادی سازه ثبت میشه (محدوده نرمال کشیدگی فنر)

۲. **پایش بلادرنگ:** دادهها مدام با الگوی عادی مقایسه میشن

۳. **تشخیص انحراف:** اگه کشیدگی از محدوده نرمال خارج بشه → هشدار آسیب

۴. **تحلیل روند:** تغییرات تدریجی (مثل نشست یا خستگی) هم قابل ردیابیه

۵. مزایا

- ✅ **هزینه پایین:** بهجای چند سنسور گرون، یه ورق لاستیک + فنر
- ✅ **پوشش توزیعشده:** چون دورتادور ستونه، تغییر شکل در هر جهت رو میگیره
- ✅ **نصب ساده:** بدون نیاز به تجهیزات پیچیده
- ✅ **قابل تنظیم:** با انتخاب فنر مناسب، حساسیت قابل تغییره

۶. محدودیتها و چالشها

- ⚠️ **رفتار غیرخطی لاستیک:** به دما و زمان وابستهست، کالیبراسیون رو سخت میکنه
- ⚠️ **حد الاستیک فنر:** اگه جابهجایی زیاد بشه، فنر تغییر شکل دائمی پیدا میکنه
- ⚠️ **نوسان فنر:** ممکنه سیگنال واقعی رو خراب کنه (نیاز به میراگر)
- ⚠️ **فرسودگی لاستیک:** در بلندمدت ترک میخوره و دقتش کم میشه
- ⚠️ **حساسیت به جابهجاییهای ریز:** جابهجاییهای واقعی ستون خیلی کوچیکن و ممکنه تو نویز گم بشن

۷. کاربردهای پیشنهادی

- پایش ستونهای ساختمانهای بلند
- پایش پایههای پل
- سازههای تاریخی (که نصب سنسور تهاجمی مجاز نیست)
- ساختمانهای در معرض زلزله یا باد شدید