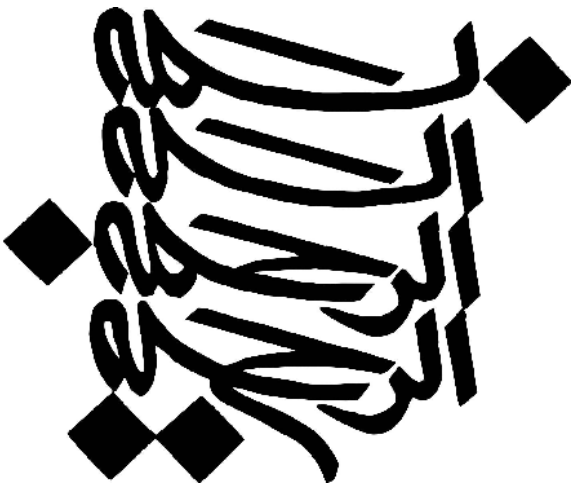


تحلیل جریان ناپایدار و ضربه‌ی قوچ با HAMMER

مهندس‌یار

مولف
محسن امیری

نشر دانشگاهی کیان
Kian Publication

سرشناسه	امیری،محسن، ۱۳۵۹.
عنوان و نام پدیدآور	تحلیل جریان ناپایدار و ضربه‌ی قوچ با HAMMER (مهندس‌یار)/ مولف محسن امیری.
مشخصات نشر	تهران: انتشارات دانشگاهی کیان، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری	۶۷۹ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۳۰۷-۲۴۷-۳
وضعیت فهرست‌نویسی	فیپا.
موضوع	ضربه قوچ. Water hammer.
موضوع	آب -- مهندسی -- نرم‌افزار. Hydraulic engineering -- Software.
موضوع	آب -- مهندسی -- داده‌پردازی. Hydraulic engineering -- Data processing.
موضوع	آب -- مهندسی -- شبیه‌سازی کامپیوتری. Hydraulic engineering -- Computer simulation.
رده بندی کنگره	TC ۱۷۴
رده بندی دیویی	۶۲۰/۱۰۶۴
شماره کتابشناسی ملی	۵۸۶۶۶۴۷

انتشارات دانشگاهی کیان

نشردانشگاهی کیان
Kian Publication

نام کتاب	: تحلیل جریان ناپایدار و ضربه‌ی قوچ با HAMMER
مولف	: محسن امیری
ویراستار علمی	: علی پورکریمی
ویراستار ادبی	: فاطمه علی‌اکبری
امور گرافیک و صفحه‌آرایی	: واحد تولید نشر دانشگاهی کیان
چاپ اول	: ۱۳۹۸
تیراژ	: ۵۰۰
قیمت	: ۱۳۵۰۰۰ تومان
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۳۰۷-۲۴۷-۳

خرید اینترنتی آسان از:
www.kianpub.com

بر اساس قانون حقوق مولفان و مصنفان، کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب به‌طورانحصاری به نشر دانشگاهی کیان تعلق دارد و هرگونه استفاده و برداشت از محتوای این اثر به هر شکلی اعم از چاپ، کپی، اسکن، لوح فشرده، نشر الکترونیک و اینترنتی یا به صورت هرگونه فایل رایانه‌ای، بدون مجوز رسمی ناشر ممنوع و حرام شرعی است و پیگرد قانونی دارد.

برای دریافت اخبار و اطلاعات مفید و شرکت در قرعه‌کشی، ما را در این شبکه‌ها دنبال کنید.

kianpublication

سخن ناشر

بشر قرن ۲۱ بی‌وقفه و به‌سرعت در تکاپوی توسعه‌ی همه‌جانبه‌ی مرزهای دانش در تمامی حوزه‌هاست و در این مسیر از تلاش باز نمی‌ایستد؛ چرا که اثرگذارترین ابزار برتری‌جویی در فضای رقابتی امروز را دست‌یابی به فناوری‌های پیشرفته، علوم نوین و گسترش صنایع پیشرفته، کارآمد و منحصربه‌فرد یافته است. براساس چنین نگرشی است که رشد سریع علوم و فنون کاربردی در گستره‌ی عظیمی از زمینه‌های تحقیقاتی در دستورکار بازی‌گردانان نظام جهانی قرار گرفته است.

در شرایط ویژه و پیچیده‌ای که کشور ما با آن روبه‌روست، گام برداشتن در مسیر پیشرفت و رشد و توسعه‌ی داخلی و نیز کسب جایگاه درخور و تاثیرگذار در عرصه‌ی بین‌المللی منوط به اصلاح دید کلان نسبت به توسعه‌ی علمی و پژوهشی با هدف ارتقای شاخص‌های پیشرفت و توسعه‌ی کشور است و این جز با حمایت ویژه و مستمر از بخش‌های دانشگاهی و پژوهشی امکان‌پذیر نخواهد بود.

انتشارات دانشگاهی کیان، به عنوان یکی از بسترهای مستعد تحقق بومی‌سازی فناوری‌های پیشرفته (High Technology) قصد دارد با استفاده از همت بلند متخصصان صنعتی و دانشگاهی کشور و با استفاده از تجارب خود در زمینه چاپ و نشر صدها عنوان کتاب‌های فنی و مهندسی، بخشی هرچند کوچک از این وظیفه‌ی خطیر را به انجام برساند.

مجموعه کتاب‌های مهندس‌یار، با هدف دسترسی دانشجویان، اساتید، پژوهشگران و علاقمندان به دانش فنی و تخصص روز دنیا در حوزه‌ی فنی و مهندسی با نگاه ویژه‌ای تدوین شده است. در این آثار سعی شده است تا تجارب و دستاوردهای علمی و پژوهشی مولفان به‌نام و فرهیخته‌ی کشور، به شیوه‌ای آموزشی و استاندارد و با بالاترین کیفیت فنی و محتوایی، به مخاطبان علاقمند انتقال یابد. این مجموعه، گستره‌ی وسیعی از علوم فنی و مهندسی را دربر می‌گیرد و تلاش بر آن است تا در آینده‌ی نزدیک در سایه‌ی الطاف الهی و با تکیه بر دانش و تخصص بومی، عناوین کاملی از کتاب‌های کاربردی و ارزشمند در این مجموعه پوشش داده شود.

انتشارات دانشگاهی کیان در این مسیر دست یکایک اساتید و پژوهشگران حوزه‌ی فنی و مهندسی را به گرمی می‌فشارد و از **پیشنهادهای ارزنده‌ی تالیف و ترجمه** در این چارچوب استقبال می‌کند و از مخاطبان این مجموعه خواهشمند است نقدها و نظرهای سازنده‌ی خود را از طریق پل‌های ارتباطی موجود در جهت ارتقای محتوایی و کیفی آثار مطرح نمایند.

نشر دانشگاهی کیان
www.kianpub.com
info@kianpub.com

الهمر، و ما ادرئک ماالهمر.

نرم‌افزار سرکش

درباره‌ی نرم‌افزار

از WaterGEMS شروع می‌کنیم. WaterGEMS نرم‌افزاری است مودب، صاف و صوف، اتوکشیده و شُسته و رُفته. همه چیزش قابل پیش‌بینی و حساب و کتاب و به‌جا. نرم‌افزاری قدرتمند، ولی بدون پیچیدگی و رمز و راز و گوشه و کنایه. خلاصه اینکه نرم‌افزاری است گوگولی و رام، رام و آرام؛ اما HAMMER نه؛ HAMMER این‌طور نیست. رام نیست؛ وحشی است. نرم‌افزاری است گستاخ و مرموز. بسان اسب سرکشی است که رم که می‌کند، هیچ چیز و هیچ کس را نمی‌شناسد و می‌زند دمار از روزگار شبکه درمی‌آورد و کاسه و کوزه‌ی تاسیسات را چپه می‌کند. پر است از پیچیدگی و رمز و راز و نکته و ریزه‌کاری. این دو نرم‌افزار را می‌توان به دو وضعیت مختلف از زندگی تشبیه کرد: WaterGEMS به مرحله‌ای از زندگی می‌مانَد که همه چیز در آن گل و بلبل است و روزگار بر وفق مراد است و امور به خوبی و خوشی در جریان؛ و به‌به از آفتاب عالم‌تاب. اما همین که تقی به توقی می‌خورد و چوبی لای چرخ زندگی می‌افتد و روال عادی و معمولِ زندگی به‌هم می‌ریزد، وضعِ HAMMER گونه‌ی زندگی هویدا می‌شود. کار در این مرحله سخت می‌شود، زندگی درهم می‌پیچد و تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی برای آن مستلزم درک دقیق و صحیحی از ماهیت پیچیدگی و نحوه‌ی برخورد و تعامل با آن خواهد بود که البته کاری است شاق و شاذ. WaterGEMS مرادف است با روالِ نود و نه درصدیِ زندگی (وضعیت پایدار) و HAMMER همان یک درصدی است که به اندازه‌ی آن نود و نه درصد، مشغله درست می‌کند (وضعیت ناپایدار). این خلاصه‌ترین و ساده‌ترین تعریفی است که می‌توان از این دو نرم‌افزار ارائه داد.

اما از طرفی، این دو نرم‌افزار مانند یک جفت دوقلوی به‌هم‌چسبیده هستند. دوقلوهایی که اگرچه به لحاظ ظاهری اشتراکاتی با هم دارند، ولی تفاوت‌هایشان همان اندازه با هم زیاد است که در بالا عرض شد. WaterGEMS نرم‌افزاری است مکانیکی که مثل ماشین‌حساب عمل می‌کند. داده‌هایی را می‌گیرد، محاسباتی روی آن انجام می‌دهد و خروجی را ارائه می‌دهد و کار تمام؛ اما در HAMMER کار تازه شروع می‌شود؛ یعنی مهندس طراح یا بهره‌بردار از این به بعد است که باید بنشیند و تحلیل‌های مفصل نرم‌افزار را برای خودش تحلیل کند و سر از کار پیچیده و پر رمز و رازِ HAMMER و Hammer دربیاورد.

جمله‌ی آخر اینکه برادرانِ WaterGEMS و HAMMER دوقلوی دوقلو هم نیستند؛ سه‌قلو هستند در اصل. قل سوم (خواهرشان) SewerGEMS است.

درباره‌ی کتاب

قانون بیست‌ـهشتاد [که در کتاب قبل (← صفحه‌ی ۹۶، [پاورقی]) ذکر خیرش رفت] در این کتاب هم صادق است؛ یعنی الزامی به مطالعه‌ی تمام کتاب نیست و با مطالعه‌ی بیست درصد از آن می‌توان به هشتاد درصدِ شناخت از نرم‌افزار رسید و برای فهم آن هشتاد درصدِ دیگر، کافی است بیست درصدِ باقیمانده را مطالعه کرد؛ اما این بیست درصد کدام است و آن هشتاد درصد کدام؟ این را خواننده است که مشخص می‌کند- برحسب نیازش. اما خواننده از کجا بداند آن بیست درصدی که دنبالش هست کجای کتاب است؟ از توضیح مختصری که برای هر فصل آمده است:

فصل «همه‌ی Hammer در یک فصل» شامل مباحثی صرفاً نظری است که مفاهیمِ ضربه‌ی قوچ و شرایط ناپایدار در آن بررسی می‌شود.

فصل «همه‌ی HAMMER در یک فصل» از صفر تا صدِ یک مثال کاربردی در نرم‌افزار بررسی می‌شود تا خواننده با کلیات آن آشنا شود.

فصل «عناصر و اجزای شبکه و مشخصات فنی هریک» به شرح عناصر تشکیل‌دهنده‌ی شبکه و مشخصات فنی آنها در ارتباط با شرایط ناپایدار می‌پردازد.[۱]

فصل «سربرگ‌ها» شامل شرح برنامه‌ها و گزینه‌هایی است که در سربرگ‌های نرم‌افزار (منوها) وجود دارد.

فصل «انباری» انباری است؛ یعنی مباحث و مطالبی که به ظاهر آت و آشغال و خرت و پرت و کم‌مصرف یا شاید هم برای برخی کاملا بی‌مصرف و دورانداختنی است، در آن نگهداری می‌شود.

فصل بعدی فصل «برگردان» است که معادل فارسیِ واژه‌های انگلیسیِ به‌کاررفته در نرم‌افزار و کتاب و برعکس، در آن آمده است.

فصل «نمایه» نمایه‌ی کلیه‌ی اعلامی است که در کتاب (و طبعا نرم‌افزار) از آن استفاده شده است. این فصل در کتاب درواقع همان کاری را می‌کند که دکمه‌های Ctrl+F در فایل‌های کامپیوتری.

توضیح تفصیلی هر فصل هم که در ابتدای آن فصل آمده. هر جای کتاب که نیاز به مراجعه به مطلب دیگری از کتاب باشد، این ارجاع توسط علامت ← انجام شده است. می‌توانید به محلِ ارجاع‌داده‌شده مراجعه کنید و توضیح مرتبط با مطلب را مطالعه نمایید.

---

۱. می‌دانیم اولین قدم برای بررسیِ نظام‌مندِ پدیده‌ی ضربه‌ی قوچ، **شناخت** عناصرِ سازنده‌ی شبکه و سپس **شبیه‌سازی دقیق** و **صحیح** آنهاست. پس از آن است که باقی کار را نرم‌افزار انجام می‌دهد و خیالتان می‌تواند از بابت اجرای دقیق و صحیح آن راحت باشد.

لازم است از جناب آقای دکتر محمدرضا جلیلی قاضی‌زاده بابت ویراست بخشی از کتاب تشکر کنم و همچنین از کارشناسان محترم شرکت Bentley (به‌ویژه از مهندس Dringoli و دکتر Walski).

راستی اگر اشتباهی در متن کتاب بود (که هست) لطف کنید و آن را منعکس نمایید. برای دریافت خدمات پس از فروشِ کتاب (شامل تغییرات یا ویرایش‌های احتمالی) و همچنین اطلاع‌رسانیِ راحت‌تر یک ایمیل خالی یا پر به بنده ارسال نمایید:

mohsen.amiri@gmail.com

به

مردان خراسانی

بخش اول: کلیات

فصل اول: همه‌ی Hammer در یک فصل

۱-۱-۱. چیستیِ جریان ناپایدار..... ۱۸
۱-۱-۲. پدیده‌ی کوبش شیر..... ۲۱
۱-۱-۳. تحلیل جریان ناپایدار..... ۲۷
۱-۱-۴. انتشار موج در مایع..... ۳۱
۱-۱-۵. نظریه‌ی ضربه‌ی قوچ..... ۳۲
۱-۱-۶. اندازه‌ی سرعت در شرایط ناپایدار..... ۳۴
۱-۱-۷. رابطه‌ی ژاکوفسکی..... ۳۵
۱-۱-۸. ارتجاع لوله و سرعت انتشار موج..... ۳۶
۱-۱-۹. انعکاس (بازگشت) و انتقال امواج فشاری..... ۴۰
۱-۱-۱۰. تحلیل ضربه..... ۴۵
۱-۱-۱۱. تضعیف (Attenuation) و تقویت (Packing) موج..... ۵۲
۱-۱-۱۲. مهار جریان ناپایدار..... ۵۶
۱-۱-۱۳. روش‌های پیشگیری از بروز ضربه..... ۶۲
۱-۱-۱۴. روش‌های دفع ضربه..... ۶۴
۱-۱-۱۵. ملاحظات بهره‌برداری..... ۷۶

فصل دوم: همه‌ی HAMMER در یک فصل

۱-۲-۱. تحلیل شبکه برای جریان پایدار و ناپایدار..... ۸۶
۱-۲-۲. کاهش مخاطرات شبکه..... ۱۲۱

بخش دوم: جزییات

فصل اول: عناصر و اجزای شبکه و مشخصات فنی هر یک

۲-۱-۱. لوله (Pipe)..... ۱۶۵
۲-۱-۲. گره (Junction)..... ۱۷۰
۲-۱-۳. شیر آتش‌نشانی (Hydrant)..... ۱۷۲
۲-۱-۴. مخزن تعادلی (Tank)..... ۱۷۲
۲-۱-۵. مخزن (Reservoir)..... ۱۷۴
۲-۱-۶. عنصر Customer Meter..... ۱۷۵
۲-۱-۷. عنصر SCADA..... ۱۷۵

۲-۱-۸. عنصر Periodic Head-Flow ۱۷۶
۲-۱-۹. تلمبه (Pump) ۱۸۴
۲-۱-۱۰. تلمبه‌های ایستگاهی (Variable Speed Pump Battery) ۲۳۰
۲-۱-۱۱. تلمبه‌خانه (Pump Station) ۲۳۰
۲-۱-۱۲. توربین (Turbine) ۲۳۱
۲-۱-۱۳. شیر فشارشکن (PRV) ۲۶۹
۲-۱-۱۴. شیر تثبیت فشار (PSV) ۲۸۲
۲-۱-۱۵. شیر گلوب (PBV) ۲۸۶
۲-۱-۱۶. شیر تنظیم دبی (FCV) ۲۸۸
۲-۱-۱۷. Throttle Control Valve (TCV) ۲۹۳
۲-۱-۱۸. General Purpose Valve (GPV) ۳۲۳
۲-۱-۱۹. شیر کنترل خطی (Valve With Linear Area Change (VLA)) ۳۲۶
۲-۱-۲۰. شیر یکطرفه (Check Valve (CV)) ۳۳۳
۲-۱-۲۱. روزنه (Orifice Between Pipes) ۳۴۲
۲-۱-۲۲. شیر تخلیه به اتمسفر (Discharge to Atmosphere Valve) ۳۴۴
۲-۱-۲۳. مخزن ضربه‌گیر (Surge Tank) ۳۵۳
۲-۱-۲۴. مخزن ضربه‌گیر تحت فشار (Hydropneumatic Tank) ۳۶۰
۲-۱-۲۵. شیر هوا (Air Valve) ۴۲۵
۲-۱-۲۶. شیر اطمینان (Surge Valve) ۴۷۶
۲-۱-۲۷. درپوش اطمینان (Rupture Disc) ۴۹۱
۲-۱-۲۸. شیر قطع و وصل (Isolation Valve) ۴۹۸
۲-۱-۲۹. ارتفاع‌زن (Spot Elevation) ۴۹۸
۲-۱-۳۰. Border, Text, Line ۴۹۸

فصل دوم: سربرگ‌ها

۲-۲-۱. سربرگ File ۴۹۹
۲-۲-۲. سربرگ Edit ۵۰۲
۲-۲-۳. سربرگ Analysis ۵۰۲
۲-۲-۴. سربرگ Components ۵۵۷
۲-۲-۵. سربرگ View ۵۶۵
۲-۲-۶. سربرگ Tools ۵۶۷
۲-۲-۷. سربرگ Report ۵۷۷
۲-۲-۸. سربرگ Help ۵۸۱

بخش سوم: فرعیات

فصل اول: انباری

۳-۱-۱. علل وقوع ناپایداری..... ۵۸۷
۳-۱-۲. رفتار کامل تلمبه در شرایط پایدار و ناپایدار..... ۵۹۰
۳-۱-۳. مفاهیم نظریِ اساسی..... ۶۰۳
۳-۱-۴. شبیه‌سازی جریان ناپایدار نامیرا (Undamped Unsteady Flow)..... ۶۰۸
۳-۱-۵. شبیه‌سازی شیرهای تنظیمی..... ۶۲۰
۳-۱-۶. شبیه‌سازی FCV..... ۶۴۴
۳-۱-۷. شبیه‌سازی شیرِ نیمه‌باز..... ۶۵۴

فصل دوم: برگردان

انگلیسی به فارسی..... ۶۶۲
فارسی به انگلیسی..... ۶۶۵

نمایه..... ۶۶۹
پیش‌نیازهای نصب نرم‌افزار Bentley HAMMER..... ۶۷۹

۱

کلیات

فصل ۱

همه‌ی Hammer[۱] در یک فصل

این همه، همه‌ی Hammer هم نیست، قسمتی از همه‌ی Hammer است؛ اما آن قسمت‌هایی است که در کار با HAMMER[۲] به کار می‌آید و لازمه‌ی فهم و درکِ ضربه و تحلیل نتایج ناشی از آن در نرم‌افزار است.

این فصل شامل معرفی جریان ناپایدار، ضربه‌ی قوچ حاصل از آن، مفاهیم اساسی مرتبط و همچنین روش‌های پیشگیری و سپس دفع ضربات قوچ ناشی از بروز ناپایداری در شبکه است.

Hammer اسب وحشی و چموشی است که (مثل WaterGEMS) سربه‌راه و تربیت‌شده نیست و باید دائما مراقبش بود که لِنگ و لگد نزند و اگر هم زد، جایی را درب و داغان نکند. این اسب چموش همیشه‌ی همیشه هم در حال چموشی نیست. فقط گاه‌گاهی چموشی می‌کند و شرایط را از حالت آرام و پایدار خارج می‌کند. این وضعیت نامتعادل را «شرایط ناپایدار» و لنگ و لگد حاصل از این شرایط را «ضربه‌ی قوچ» می‌گوییم.

شرایط ناپایدار (Transient) به تغییرات **دبی** و **فشار** [در زمانِ تغییر وضعیت شبکه از حالت پایدار اولیه (Steady State) به حالت پایدار ثانویه] گفته می‌شود. بروز شرایط ناپایدار در شبکه موجب بروز ضربه‌ی قوچ[۳] (Water Hammer) خواهد شد. زمانی که

---

۱. منظور از Hammer پدیده‌ی ضربه‌ی قوچ است.

۲. منظور از HAMMER نرم‌افزار Bentey HAMMER است.

۳. واژه‌ی Hammer در Water Hammer به معنای «چکش» یا «کوبه» است. پدیده‌ی Hammer در زبان فرانسه و فارسی به «ضربه‌ی قوچ» برگردان شده که تعبیر بامسما و بجایی است؛ برخلاف برگردان به «چکش آبی» که نامفهوم و بی‌جاست و حاصل گرته‌برداری ناشیانه‌ای از واژه‌ی Hammer است. مترجمِ Hammer می‌توانست این واژه را به «ضربه‌ی بز» یا «ضربه‌ی گاو» هم ترجمه کند، ولی اهل فن می‌دانند که مفهوم Water Hammer به ضربه‌ی قوچ (با شاخ‌های گرد که ضربه‌اش را – مانند بز با شاخ‌های تیز– به‌صورت نقطه‌ای وارد نمی‌کند، بلکه آن را به‌صورت پهن و به یک سطح وارد می‌کند و موجب انهدام لوله می‌شود و نه صرفا موجب سوراخ شدن آن) نزدیک‌تر است (همان‌طور که در مفهوم انگلیسیِ Hammer همیشه قسمت پهنِ چکش به عنوان Water Hammer

سرعت جریان در لوله به‌سرعت تغییر کند (مثلا به‌دلیل خاموش یا روشن شدن ناگهانی یک تلمبه یا باز و بسته شدن سریع یک شیر)، این تغییرِ سرعت موجب بروز یک موج فشاری (Pressure Wave) می‌شود و سرتاسر لوله را می‌پیماید. در صورتی که اندازه‌ی فشار حاصل از این موج بیش از تحمل لوله و تاسیسات باشد و هیچ تجهیزاتی نیز جهت دفع و رفع این موج وجود نداشته باشد، باید فاتحه‌ی شبکه را خواند؛ چون تخریبش حتمی است.

در ادامه درباره‌ی چیستی جریان ناپایدار، تحلیل جریان ناپایدار، نظریه‌ی صلبیت، نظریه‌ی کشسانی، اندازه‌ی سرعت در شرایط ناپایدار، تحلیل ضربه، تضعیف و تقویت موج، مهار جریان ناپایدار، روش‌های پیشگیری از بروز ضربه، روش‌های دفع ضربه و ملاحظات بهره‌برداری صحبت می‌شود.

۱-۱-۱. چیستیِ جریان ناپایدار

کنترل جریان (کم و زیاد کردن جریان) یکی از اقدامات معمول و رایج در هر شبکه است. این عمل می‌تواند شامل باز کردن و بستن شیرها، خاموش و روشن کردن تلمبه‌ها و برداشت مقادیر زیادِ آب جهت مصارف آتش‌نشانی باشد. این عملیات (به‌ویژه در زمانی که به‌سرعت انجام گیرد) منجر به پدیده‌ای به نام **ناپایداری هیدرولیکی** می‌گردد. طراحی صحیح و بهره‌برداری دقیق مانع بروز مخاطرات ناشی از ناپایداری در شبکه می‌شود.

زمانی که عملگری (مانند یک شیر) تغییری در جریان ایجاد می‌کند، شرایط جریان پایدار (Steady State) در طول لوله و در مدت‌زمان مشخص، دستخوشِ تغییر می‌شود تا مجدد به حالت پایدار برسد (حالت پایدار یعنی ثابت شدن مقدار سرعت و دبی جریان). به این پدیده‌ی فیزیکی در یک بازه‌ی زمانی (که از یک جریان پایدار شروع و به یک جریان پایدار دیگر ختم می‌شود) شرایط ناپایدار هیدرولیکی (Hydraulic Transient) گفته می‌شود.

درنظر گرفته می‌شود و نه قسمت تیز آن). به تصویر چکش و نحوه‌ی ضربه زدنِ آن در علامتِ نرم‌افزار Bentley HAMMER دقت کنید:

این برداشت از چکش درست مانند همان برداشت از قوچ است. بماند که قوچ به لحاظ قد و قواره از بز بزرگ‌تر است و می‌تواند ضربه‌های مهلک‌تری وارد کند (همان‌طور که ضربه‌های ناشی از Water Hammer به‌غایت مهلک و آسیب‌زننده است). البته پیشنهاد نگارنده این است که اگر الزامی هست که از واژه‌ی «ضربه‌ی قوچ» استفاده نشود، از واژه‌هایی مانند «آب‌کوب» استفاده شود و به دلیلی که ذکر شد، از «چکش آبی» استفاده نشود. به‌هرحال از مترجمِ Water Hammer بابت ترجمه‌ی آن به «ضربه‌ی قوچ» (چه فرانسه و چه فارسی) متشکریم (ضربه‌ی قوچ به فرانسه un coup de belier ترجمه می‌شود که coup به معنای ضربه و belier به معنای قوچ است).

در صورتی که این تغییرات به‌آرامی صورت گیرد، به این ناپایداری **خیزاب**[۱] (**Surge**) گفته می‌شود و تغییرات سریع و آنی در جریان موجب بروز نوع دیگری از ناپایداری به نام **ضربه‌ی قوچ** (**Water Hammer**) می‌گردد.

ممکن است برای خواننده‌ی زیرک این سوال پیش آید که جریان در زمانی که شبکه در حالت جریان متغیر با زمان (EPS)[۲] کار می‌کند هم دارای تغییرات است. پس چرا در چنین وضعیتی صحبت از ناپایداری جریان و ضربه‌ی قوچ نمی‌شود؟

در پاسخ باید گفت وقتی از ناپایداری صحبت می‌کنیم، منظورمان تغییرات آنیِ سرعت یا فشار است؛ یعنی سرعت یا فشار در **مدت‌زمانی بسیار کوتاه** (چند ثانیه تا حداکثر چند دقیقه) تغییر کند، ولی جریان متغیر با زمان (EPS) درواقع زنجیره‌ای از شرایط پایدار (Steady State) است که تغییرات چشمگیری در تکانه یا اندازه‌ی حرکت (Momentum) طی آن رخ نمی‌دهد و از آنجا که عامل ایجاد ناپایداری همین تغییرات تکانه است، جریان در حالت EPS دچار ناپایداری نخواهد شد (چون تغییرات سرعت و فشار به‌آرامی و کاملا کند صورت می‌گیرد) و آثاری که در شرایط ناپایدار رخ می‌دهد، در EPS مشاهده نمی‌شود. این در حالی است که در جریان ناپایدار، تغییرات مولفه‌های سرعت و فشار آن‌قدر سریع است که منجر به تغییرات سریع در تکانه می‌شود.

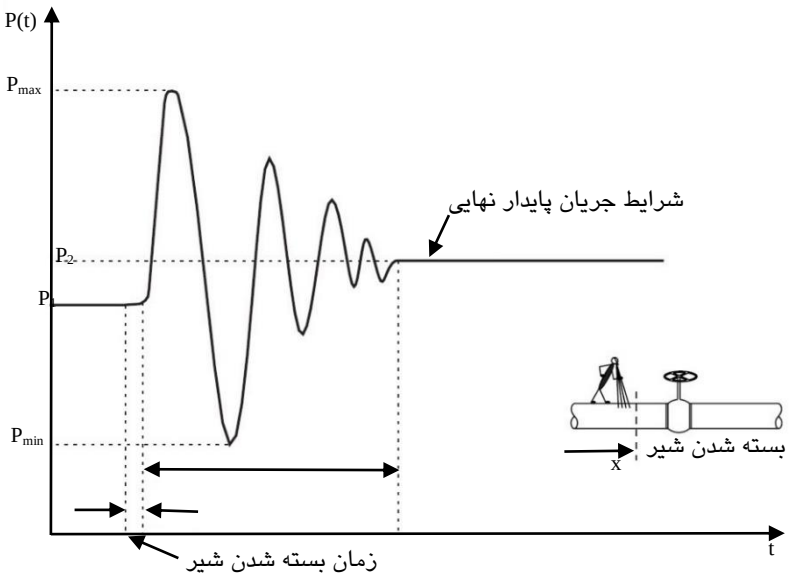
محاسبات مربوط به ناپایداری جریان برمبنای توابع $V(x,t)$ و $P(x,t)$ صورت می‌گیرد که t مدت‌زمان، x طول لوله، P فشار و V سرعت جریان است. سایر مولفه‌ها مانند دما، چگالی و... چندان اهمیتی ندارند.

مطابق تصویر ۱-۱، فشار در نقطه‌ی ثابت x تابعی است از زمان (t). با بسته شدن ناگهانی شیر، تغییرات فشاری در پایین‌دستِ آن مطابق نمودار اتفاق می‌افتد. P_1 فشار اولیه (پیش از بسته شدن شیر)، P_2 فشار نهایی (پس از تبدیل ناپایداری جریان به جریان پایدار (Steady State))، P_{max} حداکثر فشار آنیِ ایجادشده و P_{min} حداقل فشار آنی در زمان بروز جریان ناپایدار است.

---

۱. واژه‌ی خیزاب در کتاب دکتر تائبی (شبکه‌های توزیع آب شهری) مورد استفاده قرار گرفته و وجه تسمیه‌ی مناسبی برای مفهوم Surge نیز دارد.

۲. جریان یکنواختی که در طول شبانه‌روز دارای تغییرات است (Extended Period Simulation).



تصویر ۱-۱. نمای کلی از رفتار جریان در حالت ناپایدار بر اثر بسته شدن شیر

نکته

موج (Wave) می‌تواند انرژی و تکانه (اندازه‌ی حرکت) را از یک نقطه به نقطه‌ی دیگرِ جریان منتقل کند، بدون آنکه لزوما خود سیال حرکت داشته باشد. قایقی را فرض کنید که در یک دریاچه در حال حرکت است. موج ناشی از حرکتِ این قایق می‌تواند روی حرکت قایق دیگری که با قایق اولیه فاصله‌ای محسوس دارد تاثیر بگذارد، بدون آنکه آب از مجاورت قایق اول به قایق دوم منتقل شده باشد. البته این به معنای نفی حرکت جریان در زمان بروز شرایط ناپایدار نیست و موج می‌تواند مستقل از جریان حرکت کند (چه جریانی وجود داشته باشد و چه جریانی وجود نداشته باشد).

در تصویر ۱-۱ و در زمان افزایش فشار، امکان بروز اتفاق و شکستگی لوله یا اتصالات وجود دارد. همچنین در زمان بروز فشار منفی امکان چسبیده شدن (جمع شدن) لوله و انهدام آن[1] یا مکش آب آلوده از خارج به داخل لوله وجود دارد. یک فشار ناچیز در پایین‌دستِ یک شیرِ یکطرفه در زمان بروز جریان ناپایدار می‌تواند موجب بروز پدیده‌ی Slamming Effect (لگد، ضربه یا کوبش شیر) گردد. این ضربه می‌تواند در طول لوله حرکت کند و موجب بروز حادثه گردد. فشاری کمتر از ۱bar در مواجهه با یک شیر یکطرفه با قطر ۴۰۰mm می‌تواند موجب بروز نیرویی بالغ بر ۸۹۰۰N گردد.

1. Collapsing