دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

پایاننامهٔ کارشناسی ارشد

رشته و گرایش :
مهندسی عمران - سازههای هیدرولیکی

عنوان :
تدوین استاندارد بهرهبرداری از دریچه‌های سد و ادوات جنبی با توجه به مسائل بحرانی در طراحی

استاد راهنما:
دکتر سید امیرالدین صدرنژاد

دانشجو:
مصطفی مشفق حقیقی

شماره دانشجویی:
۷۹۱۳۲۶۰۰۵

مهرماه ۱۳۸۲

چکیده

عموماً برای توقف، کنترل و یا تغییر مسیر جریان در سازه‌های مختلف هیدرولیکی (نظیر سرریزها، مجاری تخلیه‌کننده، تونل‌ها، مخازن و غیره) از انواع دریچه‌ها استفاده می‌کنند. به عبارت دیگر دریچه‌ها از جمله سازه‌های کنترل‌کنندهٔ جریان هستند که برای قطع و وصل یا تنظیم دبی جریان و تنظیم سطح آب به کار می‌روند. در صنعت سدسازی، طراحی، اجرا و بهره‌برداری صحیح از دریچه‌ها باعث افزایش ظرفیت و عمر مفید سد می‌شود. از اینرو دریچه‌ها به عنوان یکی از مهمترین سازه‌های هیدرولیکی سدها مطرح بوده و درصد قابل‌توجهی از هزینهٔ کل پروژه را به خود اختصاص می‌دهند. یکی از رویکردهای مهم و اساسی در زمینهٔ بهره‌برداری از دریچه‌ها، مسأله تعمیر و نگهداری آنها می‌باشد. به طور کلی هدف از اجرای امور نگهداری و تعمیرات، حفظ دریچه در شرایط مناسب, برای کارکرد صحیح و ایمن آن می‌باشد. در این خصوص منظور از نگهداری، اجرای برنامه‌های پیشگیرانه شامل انجام بازدیدها، کنترل، سرویس و تعمیرات پیش‌بینی‌شده در فواصل زمانی معین و همچنین روش برداشت و نصب مجدد دریچه است. منظور از تعمیرات نیز انجام عملیات مرمت، بازسازی و تعویض قطعات به طور پیش‌بینی‌شده یا اتفاقی (در موارد اضطراری نظیر سیلاب، زلزله، اشکالات ناگهانی و ...) و تنظیمات لازمه می‌باشد. اگر بازدیدهای منظم دوره‌ای، وجودِ معایبی را در سازه آشکار سازد، آنگاه بازرسی و ارزیابی مفصل‌تری باید بر روی دریچه صورت گیرد. در این بازرسی‌های دقیق، بکارگیری آزمایش‌های مخرب و یا غیرمخرب، به منظور تعیین کمی شدت و وسعت خرابی ضروری خواهد بود. برای جلوگیری از وقوع شکست، لازم است نیاز یا عدم نیاز سازه به انجام تعمیرات، مشخص شده و برنامه‌ریزی و اولویت‌بندی آن، در دستور کار قرار گیرد. جهت برقراری ارتباط میان این نیازسنجی و ناپیوستگی‌های مختلف موجود در یک سازه، می‌توان از روش‌های تحلیل مکانیک شکست استفاده کرد. این کار از طریق مقایسهٔ ابعاد ناپیوستگی با مقدار بحرانی آن، صورت می‌گیرد. همچنین با انجام ارزیابی خستگی سازه، می‌توان مدت زمان انتشار ترک را تا قبل از رسیدن به اندازهٔ بحرانی (حالت حدی شکست) برآورد نمود. بدین ترتیب نرخ رشد و انتشار ترک و درنتیجه عمر باقیماندهٔ بهره‌برداری از سازه، مشخص خواهد شد.

کلیدواژه‌ها: دریچه‌های سد، بهره‌برداری، بازدیدهای دوره‌ای، مکانیک شکست.

فهرست مطالب

فصل اول کلیاتی در خصوص دریچهها

۱-۱: پیشگفتار..... ۱

۱-۲: انواع دریچه‌ها..... ۲

۱-۳: دریچه‌های مورد استفاده در سدها..... ۶

فصل دوم بررسی علل و عوامل خرابی در سازه‌های هیدرولیکی فولادی

۲-۱: مقدمه..... ۱۰

۲-۲: خوردگی..... ۱۰

۲-۲-۱: اثرات ناشی از خوردگی..... ۱۰

۲-۲-۲: انواع معمول خوردگی..... ۱۲

۲-۲-۲-۱: خوردگی ناشی از عوامل جوی..... ۱۲

۲-۲-۲-۲: خوردگی موضعی..... ۱۲

۲-۲-۲-۳: خوردگی ناشی از عوامل مکانیکی..... ۱۴

۲-۲-۳: عوامل مؤثر در خوردگی..... ۱۴

۲-۳: شکست..... ۱۶

۲-۳-۱: بررسی رفتار شکست..... ۱۶

۲-۳-۲: مفاهیم مکانیک شکست..... ۱۶

۲-۳-۳: عوامل مؤثر در شکست..... ۱۹

۲-۳-۳-۱: خواص مصالح..... ۱۹

۲-۳-۳-۲: اثرات ناشی از جوشکاری..... ۱۹

۲-۳-۳-۳: ضخامت اجزاء..... ۲۱

۲-۴: خستگی ۲۱
۲-۴-۱: مقدمه ۲۱
۲-۴-۲: بررسی رفتارهای اساسی خستگی ۲۲
۲-۴-۳: بررسی مقاومت سازه‌های جوش‌شده در برابر خستگی ۲۲
۲-۴-۴: بررسی مقاومت خستگی در سازه‌های پرچ‌شده ۲۳
۲-۴-۵: بررسی مقاومت خستگی در اعضای خورده‌شده ۳۱
۲-۴-۶: بارگذای خستگی با دامنهٔ متغیر ۳۱
۲-۴-۷: بارگذاری‌های مکّرر در سازه‌های هیدرولیکی فولادی ۳۲
۲-۵: نقصان و نارسایی‌های ناشی از طراحی ۳۳
۲-۶: ناپیوستگی‌های موجود در ساخت ۳۴
۲-۷: نوع بهره‌برداری و نحوهٔ نگهداری ۳۵
۲-۸: بارهای پیش‌بینی نشده ۳۶

فصل سوم ارزیابی سازهای

۳-۱: مقدمه ۳۷
۳-۲: بررسی رفتار شکست در مصالح فولادی ۳۷
۳-۳: آنالیز شکست ۳۸
۳-۴: مکانیک شکست در حالت الاستیک خطی ۴۴
۳-۵: بررسی شکست در حالت ارتجاعی- خمیری ۵۰
۳-۶: آنالیز خستگی ۵۳
۳-۷: انتشار در ترک در اثر خستگی ۵۴
۳-۸: روند ارزیابی خستگی ۵۷
۳-۸-۱: آنالیز خستگی ناحیه II با معلوم بودن ابعاد ناپیوستگی (ترک) ۵۷
۳-۸-۲: ارزیابی مقاومت خستگی بدون معلوم بودن پارامترهای مربط به ناپیوستگی ۵۸

۳-۸-۲-۱: اتصالات جوشی ۵۸
۳-۸-۲-۲: اتصالات پرچی ۵۸
۳-۹: ارزیابی خرابی ناشی از خوردگی ۵۹
۳-۱۰: ارزیابی اعضای دارای تغییر شکل پلاستیک ۶۰

فصل چهارم آزمایش‌های مصالح و تست جوش

۴-۱: مختصری در خصوص مصالح فولادی مورد استفاده در دریچهها ۶۱
۴-۱-۱: انواع متداول فولادهای سازهایِ استاندارد, در گذشته و حال ۶۱
۴-۱-۲: انواع استاندارد فولاد پرچ ۶۳
۴-۱-۳: تنش مجاز و حد تسلیم انواع فولاد ۶۴
۴-۱-۴: جوشپذیری فولادهای اولیه ۶۷
۴-۲: هدف از انجام آزمایش‌های جوش و مصالح ۶۹
۴-۳: انتخاب نمونه و نمونه برداری از سازه‌های موجود ۶۹
۴-۴: ارزیابی شیمیایی مواد و مصالح ۷۰
۴-۵: آزمایش کشش (مقاومت کششی) ۷۰
۴-۵-۱: هدف از انجام آزمایش کشش ۷۰
۴-۵-۲: آزمایش کششی عرضی ۷۰
۴-۵-۳: آزمایش کشش مصالح و جوش ۷۱
۴-۵-۴: محاسبه خواص هندسی و مکانیکی مصالح ۷۱
۴-۶: آزمایش خمش ۷۲
۴-۷: آزمایش برش جوش گوشه ۷۳
۴-۸: آزمایش سختی ۷۴
۴-۹:آزمایش طاقت شکست (سختی شکست) ۷۶

فصل پنجم بازدیدهای دوره‌ای و بازرسیهای دقیق

۵-۱: هدف از انجام بازدیدها ۸۰

۵-۲: روند انجام بازدیدها ۸۱

۵-۲-۱: بررسی‌های پیش از بازرسی ۸۱

۵-۲-۲: انجام بازرسی فنی ۸۱

۵-۲-۳: ارزیابی سازه‌ای ۸۲

۵-۲-۴: کد پیشنهادات و دستورالعمل‌های اجرایی ۸۳

۵-۳: اعضاء و اتصالات بحرانی ۸۳

۵-۳-۱: نواحی بحرانی ازنظر شکست ۸۳

۵-۳-۱-۱: تعیین سطوح تنش ۸۴

۵-۳-۱-۲: طبقه‌بندی جزئیات (دیتایل‌های) سازه‌ای ۸۵

۵-۳-۱-۳: شناسایی نواحی بحرانی (تلفیق اثرات تنش با نوع جزئیات سازه‌ای) ۸۹

۵-۳-۲: نواحی بحرانی از نظر آسیب‌های ناشی از خوردگی ۹۵

۵-۳-۳: نواحی بحرانی با توجه به دیگر عوامل خرابی در دریچه‌ها ۹۷

۵-۴: بازرسی مشاهده‌ای ۹۹

۵-۵: تهیه فهرست کنترل- تطبیق برای بازرسی نواحی بحرانی ۱۰۰

۵-۵-۱: اعضاء و نواحی بحرانی در آینده چک لیست انواع دریچه‌ها ۱۰۰

۵-۵-۲: اعضاء و نواحی بحرانی مربوط به دریچه‌های غلتان (غلتکی) ۱۰۱

۵-۵-۳: اعضاء و نواحی بحرانی مربوط به دریچه‌های قطاعی ۱۰۳

۵-۵-۴: اعضاء و نواحی بحرانی مربوط به دریچه ۱۰۳

۵-۶: فواصل زمانی میان بازرسیها ۱۰۵

۵-۷: بازرسی‌های دقیق..... ۱۰۶
۵-۷-۱: هدف از انجام بازرسی‌های دقیق..... ۱۰۶
۵-۷-۲: روند انجام بازرسی‌های دقیق..... ۱۰۶
۵-۷-۲-۱: بازرسی ترک‌ها..... ۱۰۷
۵-۷-۲-۲: بازرسی پرچ‌ها..... ۱۰۸
۵-۷-۲-۳: بازرسی خوردگی..... ۱۰۹
۵-۷-۲-۴: بازرسی اعضای دارای تغییر شکل پلاستیک..... ۱۱۱
۵-۷-۳: انواع آزمایش‌های غیرمخرب..... ۱۱۲
۵-۷-۳-۱: آزمایش مشاهده‌ای دقیق (VT)..... ۱۱۲
۵-۷-۳-۲: آزمایش نفوذ (PT)..... ۱۱۲
۵-۷-۳-۳: آزمایش ذره مغناطیسی (MT)..... ۱۱۴
۵-۷-۳-۴: آزمایش پرتونگاری (RT)..... ۱۱۵
۵-۷-۳-۵: آزمایش فراصوتی (UT)..... ۱۱۶
۵-۷-۳-۶: آزمایش جریان گردابی (ET)..... ۱۱۷
۵-۸: بررسی معیارهای قابل‌قبول برای ناپیوستگی‌های جوش و اجزای جوشکاری شده..... ۱۱۸
۵-۸-۱: طبقه بندی ناپیوستگی..... ۱۱۸
۵-۸-۲: ضوابط و معیارهای قابل قبول در ناپیوستگی‌ها..... ۱۱۹

فصل ششم تشریح نحوهٔ انجام ارزیابی‌های شکست و خستگی و چگونگی اجرای اقدامات تعمیر و بازسازی

۶-۱: مقدمه..... ۱۲۱
۶-۲: نحوهٔ تعیین میزان طاقت شکست..... ۱۲۱
۶-۲-۱: طاقت شکست در حالت کلی..... ۱۲۱
۶-۲-۲: طاقت شکست در حالت کرنش مسطح..... ۱۲۳

۶-۲-۳: طاقت شکست در حالت تنش مسطح..... ۱۲۴
۶-۳: روند انجام آنالیز شکست..... ۱۲۶
۶-۳-۱: ارزیابی سازه‌ای یک دریچه سرویس از نوع قطاعی و دارای اتصالات پرچی..... ۱۲۶
۶-۳-۲: ارزیابی شکست یک دریچه قطاعی..... ۱۲۹
۶-۳-۳: مثالی از ارزیابی شکست در یک دریچه کشویی..... ۱۳۲
۶-۴: روند انجام آنالیز خستگی..... ۱۳۷
۶-۵: مسائل مربوط به ارزیابیِ توأم شکست و خستگی با توجه به نوع ترک‌های ایجادشده در اعضاء..... ۱۳۹
۶-۵-۱: ترک تک‌لبه..... ۱۳۹
۶-۵-۲: ترک دولبه..... ۱۴۲
۶-۵-۳: ترک سطحی..... ۱۴۴
۶-۶: چگونگی مرمت و بازسازی ترک‌ها..... ۱۴۸
۶-۶-۱: ایجاد سوراخ در نوک ترک..... ۱۴۸
۶-۶-۲: صیقل‌کاری پنجهٔ جوش..... ۱۵۰
۶-۶-۳: ضربات تراکمی..... ۱۵۱
۶-۶-۴: ذوب مجدد توسط قوس الکتریکی گاز تنگستن (GTA)..... ۱۵۱
۶-۷: نمونه مسائلی از تعمیر اجزای مختلف دریچه‌ها..... ۱۵۲
۶-۷-۱: ترک خوردگی در شاه‌تیر و اعضای مهاربندی متصل به آن در یک دریچه مسدودکننده..... ۱۵۲
۶-۷-۲: ترک در محل اتصال بال دیافراگم به بال شاه‌تیر در دریچه‌های کشوئی قائم..... ۱۵۶
۶-۷-۳: ترک در شاه‌تیر افقی یک دریچه قطاعی در مجاورت سخت‌کنندهٔ عرضی جان تیر..... ۱۵۸
۶-۷-۴: شکست در میله‌های آشغال‌گیر دریچه..... ۱۶۰

فصل هفتم نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۷-۱: نتیجه‌گیری..... ۱۶۵
۷-۱-۱: مقدمه..... ۱۶۵

۷-۱-۲: مسائل مربوط به تعمیر و نگهداری دریچه‌ها..... ۱۶۵
۷-۱-۳: بهره‌گیری از دیتایل‌های سازه‌ای مناسب برای جلوگیری از وقوع شکست..... ۱۶۷
۷-۱-۴: برنامه‌ریزی و زمان‌بندی بازرسی‌ها..... ۱۷۱
۷-۲: توصیه‌ها و پیشنهادات..... ۱۷۲
۷-۲-۱: ملاحظات خوردگی..... ۱۷۲
۷-۲-۲: نکات لازم درخصوص تعمیر اتصالات پرچی..... ۱۷۵
۷-۲-۳: راهکارهای پیشنهادی برای تعمیر- نگهداری سازه‌های معیوب یا در معرض خرابی..... ۱۷۶
۷-۳: پیشنهاداتی برای توسعه و ادامهٔ تحقیق..... ۱۷۷

مراجع و منابع..... ۱۷۹

مقاله

فهرست علائم و نشانه‌ها

β_{lc} فاکتور کرنش مسطح ایروین

δ_{cric} تغییرمکان بحرانی شکاف نوک ترک

ε_y کرنش تسلیم مصالح

σ تنش نامی عضو

σ_m تنش پوسته‌ای (غشایی)

σ_b تنش خمشی

σ_p تنش اولیه

σ_s تنش ثانویه

σ_y تنش تسلیم مصالح

σ_{ys} تنش تسلیم مصالح در دمای بهره‌برداری

a اندازه (طول) ترک

a_{cr} طول بحرانی ترک

a_i طول ترک اولیه

a_r طول ترک متناظر با حداکثر زمان شروع تعمیرات

a_t بعد قابل تحمل ترک

$\bar{a}$ بعد مؤثر ناپیوستگی

$\bar{a}_m$ حداکثر بعد مجاز ناپیوستگی

C ضریب بدون بعد به صورت تابعی از هندسهٔ ترک

E مدول ارتجاعی

$F.S$ ضریب اطمینان

HB عدد سختی برینل

HR عدد سختی راکول

K_I فاکتور شدت تنش

K_{Ic} فاکتور شدت تنش بحرانی در حالت کرنش مسطح

$K_{\max}$ فاکتور شدت تنش حداکثر

$K_{\min}$ فاکتور شدت تنش حداقل

ΔK_I اختلاف فاکتور شدت تنش حداقل و حداکثر

ΔK_{th} آستانهٔ خستگی

m تعداد بلوک‌های نظیر محدودهٔ تنش

n_i اُم i تعداد سیکل‌های نظیر محدودهٔ تنش

N_I عمر ایجاد ترک اولیه

N_P عمر انتشار ترک

N_T عمر خستگی کل

R نسبت تنش (نسبت خستگی)

S_r محدودهٔ تنش مجاز با توجه به نوع جزئیات سازه‌ای

S_r^C C محدودهٔ تنش مجاز نظیر دستهٔ خستگی

S_{re} محدودهٔ تنش معادل نظیرِ m محدودهٔ تنش گسسته

S_{ri} اُم i بزرگی بلوک محدودهٔ تنش

t ضخامت عضو

فهرست جداول

فصل اول

جدول ۲-۱: طبقه‌بندی جزئیات مختلف سازه‌ای از نظر خستگی..... ۲۶

فصل چهارم

جدول ۴-۱: تنش مجاز برای اعضای مختلف سازه‌ای با توجه به نوع مصالح و بارهای وارده بر حسب MPa..... ۶۵

جدول ۴-۲: تنش مجاز برای انواع اتصالات سازه‌ای با توجه به نوع بارهای وارده بر حسب MPa..... ۶۶

جدول ۴-۳: عملیات صحیح جوشکاری برای فولاد A7 (مطابق ویراست قدیمی رسالهٔ جوش‌پذیری فولادها)..... ۶۸

فصل پنجم

جدول ۵-۱: فاکتور شاخص شکست به ازای سطوح مختلف تنش و دستهٔ خستگی نظیر دیتایل..... ۹۰

جدول ۵-۲: بازدیدهای دوره‌ای از دریچه‌های سرویس..... ۱۰۵

جدول ۵-۳: راهنمای انتخاب نوع روش آزمایش غیرمخرّب برای بازرسی‌ها..... ۱۰۷

فهرست اشکال

فصل اول

شکل ۱-۱: انواع مختلف دریچه‌های مورد استفاده در سد و دیگر سازه‌های هیدرولیکی..... ۵
شکل ۱-۲: چگونگی عبور آب از دریچه‌ها..... ۶
شکل ۱-۳: اجزای مختلف یک دریچهٔ قطاعی..... ۹

فصل دوم

شکل ۲-۱: نمودار عمر خستگی بر حسب دامنهٔ تنش..... ۲۳
شکل ۲-۲: نتایج آزمایشهای خستگی بر روی مقاطع و اتصالات پرچی..... ۲۴
شکل ۲-۳: نمونهای از یک ترک خستگی در یک عضو پرچ‌شده..... ۲۵
شکل ۲-۴: ترک سطحیِ به وجود آمده در لبهٔ سوراخ پرچ..... ۲۵
شکل ۲-۵: ترک خستگی ناشی از شکاف به وجود آمده در اثر خوردگی (واقع در یک سوراخ پرچ)..... ۳۱

فصل سوم

شکل ۳-۱: رابطهٔ بین طاقت شکست, دمای بهرهبرداری و سرعت بارگذاری..... ۳۸
شکل ۳-۲: تعیین نوع و ابعاد ناپیوستگی..... ۴۰
شکل ۳-۳: تجزیهٔ هندسی ناپیوستگی به مؤلفه‌های عمود بر صفحات تنش‌های اصلی..... ۴۰
شکل ۳-۴: اندرکنش بین ناپیوستگیهای موجود در یک صفحه..... ۴۱
شکل ۳-۵: اندرکنش بین ناپیوستگی‌های موجود در صفحات جداگانه..... ۴۲
شکل ۳-۶: تصحیح ابعاد مؤثر ناپیوستگی با توجه به موقعیت آن..... ۴۲
شکل ۳-۷: الگوریتم ارزیابی شکست در سازهها..... ۴۳
شکل ۳-۸: پارامتر K_I برای ترک سرتاسری تحت کشش..... ۴۵

شکل ۳-۹: پارامتر K_I برای ترک دولبه تحت کشش..... ۴۵
شکل ۳-۱۰: پارامتر K_I برای ترک یک‌لبه تحت کشش..... ۴۵
شکل ۳-۱۱: پارامتر K_I برای ترک منتشر شده از یک سوراخ دایره‌ای..... ۴۵
شکل ۳-۱۲: پارامتر K_I برای ترک منتشر شده از یک سوراخ بیضوی..... ۴۶
شکل ۳-۱۳: پارامتر K_I برای ترک گوه‌ای در یک عضو تحت خمش..... ۴۶
شکل ۳-۱۴: پارامتر K_I برای ترک‌های دایروی یا بیضی‌شکلِ داخلی (مدفون)..... ۴۷
شکل ۳-۱۵: پارامتر K_I برای ترک‌های سطحی..... ۴۸
شکل ۳-۱۶: پارامتر K_I برای ترکِ تحت نیروهای گوه‌ای خارج از مرکز..... ۴۸
شکل ۳-۱۷: تقریبِ نمودار واقعی تنش به حالت خطی..... ۴۹
شکل ۳-۱۸: رابطهٔ بین ابعاد ناپیوستگی و پارامتر بُعد مؤثر $\bar{a}$ (برای ناپیوستگیهای سطحی)..... ۵۱
شکل ۳-۱۹: رابطهٔ بین ابعاد ناپیوستگی و پارامتر بُعد مؤثر $\bar{a}$ (برای ناپیوستگیهای مدفون)..... ۵۱
شکل ۳-۲۰: مقادیر مختلف ضریب ثابت C به ازای انواع شرایط بارگذاری..... ۵۲
شکل ۳-۲۱: نمودار رشد ترک خستگی در فولاد..... ۵۵
شکل ۳-۲۲: نمودار پیشنهادی (Sr-N) برای دریچه‌های سرویس دارای اتصالات پرچی..... ۵۹

فصل چهارم

شکل ۴-۱: دستگاه آزمایش راکول..... ۷۶
شکل ۴-۲: دستگاه آزمایش شارپی..... ۷۸

فصل پنجم

شکل ۵-۱: تیپ اتصال اعضای مهاربندی به تیر حمّال اصلی..... ۸۶
شکل ۵-۲: ترک خستگی به وجود آمده در محل خال جوش از یک اتصال پرچی..... ۸۷
شکل ۵-۳: ترک خستگی ناشی از جوشهای اتصال و جوشهای تعمیرات..... ۸۸
شکل ۵-۴: تیپ اتصال تیرافقی ـ پشت‌بند ـ ورق پوسته..... ۹۳

شکل ۵-۵: محل وقوع تنشهای بزرگ در تیرهای افقی به واسطهٔ اعوجاج دیافراگم..... ۹۸
شکل ۵-۶: ترک خستگی ناشی از جوشکاری تعمیراتی در محل سپرهای انتهایی..... ۹۹
شکل ۵-۷: اعضاء و نواحی بحرانیِ دریچه‌های قطاعی..... ۱۰۲
شکل ۵-۸: اعضاء و نواحی بحرانی مربوط به دریچه‌های کشویی..... ۱۰۳
شکل ۵-۹: اعضاء و نواحی بحرانی مربوط به دریچه‌های غلتکی..... ۱۰۴
شکل ۵-۱۰: خوردگی موضعی در اطراف پرچها..... ۱۰۹
شکل ۵-۱۱: انواع خوردگی در پرچها..... ۱۱۱
شکل ۵-۱۲: انواع معمول خرابی و ناپیوستگی در جوشها..... ۱۲۰

فصل ششم

شکل ۶-۱: رابطهٔ بین دما و طاقت شکست مصالح..... ۱۲۲
شکل ۶-۲: تأثیر سرعت بارگذاری بر طاقت شکست..... ۱۲۳
شکل ۶-۳: رابطهٔ دو مرحله‌ای $CVN\text{-}K_{Id}\text{-}K_{Ic}$ برای ناحیهٔ زیرین نمودار طاقت شکست - دما..... ۱۲۵
شکل ۶-۴: رابطهٔ دو مرحله‌ایِ $CVN\text{-}K_{Ic}$ برای ناحیهٔ فوقانیِ نمودار طاقت شکست - دما..... ۱۳۱
شکل ۶-۵: نمودار عمر خستگی N بر حسب طول ترک اولیه a ۱۳۸
شکل ۶-۶: ترک تک‌لبه در محل اتصال تیر افقی به اعضای مهاربندیِ یک دریچهٔ کشویی..... ۱۴۰
شکل ۶-۷: نمودارهای عمر خستگی تیر افقی دارای ترک تک‌لبه..... ۱۴۱
شکل ۶-۸: نمونه‌ای از یک ترک دولبه در یک شاه‌تیر..... ۱۴۲
شکل ۶-۹: نمودارهای عمر خستگی تیر افقی دارای ترک دولبه..... ۱۴۳
شکل ۶-۱۰: ترک سطحی در یک عضو سخت‌کنندهٔ متصل به شاه‌تیر..... ۱۴۴
شکل ۶-۱۱: نمودارهای عمر خستگی سخت‌کنندهٔ دارای ترک سطحی..... ۱۴۶
شکل ۶-۱۲: تعمیر ترک در یک عضو با استفاده از روش ترکیبی حفر سوراخ و جوشکاری..... ۱۵۰
شکل ۶-۱۳: ترک در بال تیر افقی در محل اتصال اعضای مهاربندی..... ۱۵۳
شکل ۶-۱۴: تعمیر ترک در بال تیر افقی با استفاده از صفحهٔ تقویتیِ پیچ‌شده..... ۱۵۴

شکل ۶-۱۵: تعمیر ترک در بال تیر افقی با استفاده از صفحهٔ تقویتیِ جوش‌شده..... ۱۵۵
شکل ۶-۱۶: ترک در بال تیر افقی در محل اتصال اعضای مهاربندی..... ۱۵۶
شکل ۶-۱۷: بهبود مقاومت اتصال دیافراگم به تیر با استفاده از صفحهٔ تقویتیِ جوش‌شده (ماهیچه)..... ۱۵۸
شکل ۶-۱۸: ترک میان‌ضخامتی در بال کششی تیر افقی در محل اتصال سخت‌کنندهٔ عرضی جان..... ۱۵۹
شکل ۶-۱۹: نحوهٔ تعمیر بال تیر با استفاده از ورق وصلهٔ پیچ‌شده..... ۱۶۰
شکل ۶-۲۰: نمونه‌ای از یک آشغال‌گیر دریچهٔ سد..... ۱۶۱
شکل ۶-۲۱: نحوهٔ تعمیر میله‌های آشغال‌گیر دریچه با بهره‌گیری از جزئیات سازه‌ای مناسب..... ۱۶۲

فصل هفتم

شکل ۷-۱: بهبود مقاومت اتصال توسط انتخاب دیتایل مناسب..... ۱۶۹
شکل ۷-۲: صورت کلی نمودار a-N جهت استفاده در برنامه‌ریزی و زمان‌بندی بازرسی‌ها..... ۱۷۲

فصل اول

کلیاتی در خصوص دریچه‌ها

۱-۱: پیشگفتار

بهره‌برداری صحیح و مناسب از منابع آب هر کشور، نقش بسزایی در بهبود و توسعهٔ کشاورزی و صنعت آن کشور داشته و نتیجتاً پیشرفت و شکوفایی اقتصادی را به دنبال خواهد داشت. در این راستا نظر به کمبود نزولات جوّیِ سالیانه و عدم یکنواختی در پراکندگی زمانی و مکانی آنها در کشور ما، دقت و توجه بیشتر به مسأله شناخت، کنترل و استفادهٔ بهینه از منابع آب موجود امری ضروری به نظر می‌رسد.

مطابق آمارهای موجود، با توجه به میزان متوسط بارندگی در سطح کشور حجم نزولات جوی سالیانه برابر ۴۰۰ میلیارد متر مکعب تخمین زده می‌شود که مجموعاً ۷۱ درصد آن از طریق تبخیر و تعرّق طبیعی مجدداً وارد جو شده و از این مقدار تنها ۱۰۴ میلیارد متر مکعب به عنوان حجم منابع آب‌های سطحی کشور ـ که قابل مهار کردن میباشند ـ برآورد گردیده است. در این خصوص مؤثرترین و بهترین راه جهت بهره‌برداری از ذخایر آب‌های سطحی، استفاده از سدها به عنوان سازه‌های اصلی کنترل جریان در رودخانه‌ها می‌باشد.

اصولاً هر سازه طبیعی یا ساخته شده به دست بشر که در مسیر جریان قرار گیرد و روابط دبی و عمق جریان را در اطراف خود تثبیت نماید، یک سازه کنترل جریان نامیده می‌شود. سازه‌های مختلف با توجه به شرایط فیزیکی خاص، روابط متفاوتی را بین عمق و دبی جریان ایجاد کرده و لذا هر یک از آنها جهت اهداف معین خاص خود مورد استفاده قرار می‌گیرد. سدها علاوه بر مهار، کنترل و ذخیره نمودن آب، نقش تعیین‌کننده‌ای در تأمین انرژی پتانسیل مورد نیاز نیروگاه‌های برقآبی ایفا می‌نمایند. از اینرو با توجه به بحران انرژی در زمان حاضر، توجیه‌پذیری و اولویت‌بندی پروژه‌های احداث سد در مقایسه با سایر طرح‌ها در الویت بالاتری قرار می‌گیرد.

کلیهٔ سدها دارای مجاری تخلیه‌کنندهٔ مختلفی برای کنترل سیلاب، تنظیم تراز آب مخزن و هدایت آب به نیروگاه هستند که مهمترین آنها عبارتند از: تونل‌های آب‌بر نیروگاه[۱]، تخلیه‌کنندهٔ تحتانی[۲]، تخلیه‌کنندهٔ جبرانی جریان[۳]، سرریز روزنه‌ای[۴]، سرریز تاج[۵]، سرریز اوجی[۶] و سرریز تنداب[۷].

عموماً برای توقف، کنترل و یا تغییر مسیر جریان در سازه‌های مختلف هیدرولیکی نظیر مجاری تخلیه‌کننده، تونل‌ها، مخازن و غیره از انواع دریچه‌ها استفاده می‌نمایند. به عبارت دیگر دریچه‌ها از جمله سازه‌های کنترل‌کنندهٔ

1- Penstocks
2- Bottom Outlet
3- Flow Compensation Outlet
4- Orifice Spillway
5- Crest Spillway
6- Ogee Spillway
7- Chute Spillway

جریان هستند که برای قطع و وصل یا تنظیم دبی جریان و تنظیم سطح آب به کار می‌روند. طراحی و اجرای صحیح دریچه‌ها باعث افزایش ظرفیت و عمر مفید سد می‌شود و بنابراین یکی از مهمترین سازه‌های هیدرولیکی سدها بوده و بخش زیادی از هزینه کل پروژه را به خود اختصاص می‌دهند.

علاوه بر دریچه می‌توان از سازه‌های کنترلی دیگری نظیر شیرها نیز در قطع و وصل و تنظیم دبی جریان بهره جست. اساس کار و نحوه عملکرد شیرها تا حد زیادی مشابه دریچه‌هاست، با این تفاوت که معمولاً در خطوط لوله و جریان‌های تحت فشار مورد استفاده قرار می‌گیرند. کلیهٔ مسائل مربوط به طراحی و ساخت دریچه‌ها در صنعت سدسازی تحت عنوان " تأسیسات هیدرومکانیکال" تدوین و ارائه می‌گردد.

۱-۲: انواع دریچه‌ها

همانطور که در بخش قبل اشاره شد، دریچه‌ها وسایلی هستند که برای کنترل و تنظیم دبی و قطع و وصل جریان به کار می‌روند. به طور کلی نوع، جنس، شکل و نحوه عملکرد هر دریچه با توجه به نوع کاربری و هدف مورد انتظار آن تعیین می‌گردد. طبقه‌بندی دریچه‌ها به علت تنوع و گستردگی زیاد، مباحث مختلفی را در بر می‌گیرد که اهمّ آنها عبارتند از:

الف- بر اساس محل قرارگیری: (دریچه‌های سطحی و دریچه‌های تحتانی)

دریچه‌های سطحی در نزدیکی سطح آزاد آب و تحت فشار کم می‌باشند، در حالی که دریچه‌های تحتانی در ترازهای پایین‌تر از سطح آب قرار داشته و تحت فشار و هد بالا هستند.

ب- بر اساس نحوهٔ عملکرد: دریچه‌های اصلی (سرویس)، تعمیراتی (محافظ) و اضطراری

دریچه‌های اصلی[1] به طور دائم مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند. در هنگام تعمیرات از دریچه‌های محافظ[2] و در زمان حوادث از دریچه‌های اضطراری[3] استفاده می‌شود. دریچه‌های تعمیراتی می‌توانند کار دریچه‌های اضطراری را نیز انجام دهند.

ج- بر اساس مصالح بدنه:

1- Main Gates (Service Gates)
2- Bulkheads
3- Emergency Gates

مصالح مورد استفاده در ساخت دریچه‌ها بسیار متنوع بوده و می‌توان از فلزات (نظیر فولاد و آلومینیوم)، مواد پلاستیکی یا شیمیایی، بتن و چوب در این کار بهره جست.

دریچه‌های فولادی به دلیل استحکام و مقاومت زیاد به طور وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مواردی‌که وزن کمِ دریچه مطلوب باشد، فلز آلومینیوم به کار برده می‌شود. در بعضی از پروژه‌ها به صورت بسیار محدود، از دریچه‌های بتنی مسلح نیز استفاده شده است. چنانچه عرض دهانه کم و ارتفاع آب در بالادست دریچه زیاد نباشد، می‌توان از دریچه‌های چوبی استفاده نمود. اخیراً در بعضی از پروژه‌ها استفاده از دریچه‌های لاستیکی، بادکنکی (مشمّائی) و دیگر مواد شیمیاییِ مناسب نیز مشاهده شده است.

د- بر اساس نوع کاربری و بهره‌برداری:

شامل دریچه‌های تنظیم دبی، دریچه‌های قطع و وصل جریان و دریچه‌های کنترل‌کننده سطح آب میباشد.

ه- بر اساس شکل هندسی:

دریچه‌ها از لحاظ شکل ظاهری به دو نوع عمده تخت و غیرتخت تقسیم می‌شوند. معمول‌ترین دریچه از نوع تخت، دریچه کشویی بوده و دریچه‌های قطاعی و غلتان[1] نمونه‌های پرکاربردی از انواع دریچه‌های غیرتخت می‌باشند.

و- بر اساس میزان بازشدگی:

دریچه‌ها از لحاظ نحوهٔ باز و بسته بودن، به دو دسته تقسیم می‌شوند:

- دریچه‌هایی که هنگام بهره‌برداری، کاملاً باز یا کاملاً بسته هستند.
- دریچه‌هایی که به طور درصدی باز هستند. بدین صورت که میزان بازشدگی این دریچه‌ها از صفر (کاملاً بسته) تا ۱۰۰ درصد (کاملاً باز) تغییر می‌نماید.

ز- بر اساس نحوهٔ تماس آب با دریچه:

در این‌حالت تقسیم‌بندی پشت و رو و تک‌رخ را برای دریچه‌ها خواهیم داشت، به این صورت که اگر آب با هر دو وجه دریچه در تماس باشد، دریچه از نوع پشت و رو و اگر تنها با یک وجه دریچه تماس داشته باشد، از نوع تک‌رخ خواهد بود.

ح- بر اساس مکانیزم باز و بسته شدن:

1- Roller Gates