بسمه تعالی

دانشگاه آزاد اسلامی (واحد تهران-جنوب)

پروژه

تحقیق و تشریح تجهیزات هیدرومکانیک یک سد مخزنی به انضمام طراحی سیستم‌های کنترل و توزیع قدرت

استاد:

جناب آقای دکتر احمد جلوه مقدم

دانشجو:

مهرداد خسروی جاسبی

(۸۲۱۲۸۴۲۶۷۰)

سال تحصیلی ۸۴-۸۵

نیمسال دوم

چکیده

هدف از پروژه حاضر، جمع‌آوری اطلاعات و مشخصات فنی الکتریکی تجهیزات هیدرومکانیک یک سد مخزنی و همچنین مشخصات سیستم‌های کنترلی این تجهیزات، جهت آشنایی با خصوصیات و جزییات طراحی، نحوه بکارگیری و کنترل این تاسیسات می‌باشد.

فصل اول این پروژه شامل آشنایی کلی با انواع سدها و کاربری‌های مختلف آنها و نیز تجهیزات مختلف بکار برده شده در هر نوع می‌باشد. در این فصل سعی خواهد شد تا با تشریح فلسفه وجودی و چگونگی کارکرد هر تجهیز، هدف از کاربرد و طراحی آن تجهیز را وضوح بیشتری بخشیم. در ادامه این فصل، پارامترهای اساسی و مورد اندازه‌گیری در هر سد را مورد بررسی قرار خواهیم داد و پس از آن نحوهٔ اندازه‌گیری هر پارامتر را به‌لحاظ تئوری توضیح خواهیم داد. در همین راستا حتی‌الامکان روش‌های عملی و کاربردی جهت پیاده‌سازی این سیستم‌ها را نیز تشریح خواهیم نمود.

در فصل دوم و سوم بیشتر با مطالب و جزییات برقی تجهیزات هیدرومکانیک آشنا خواهیم شد. از آنجا که گرایش تحصیلی اینجانب در رشته برق- قدرت می‌باشد، اهم مطالب در این ارتباط خواهد بود. از اینرو در انتهای فصل یک، در مورد شمای کلی سیستم توزیع انرژی الکتریکی یک سد صحبت به میان خواهد آمد و این موضوع را در دو حالت تغذیهٔ نرمال و اضطراری تشریح خواهیم نمود و در ادامه سیستم‌های کنترلی تجهیزات و انواع این سیستم‌ها، مورد بحث قرار می‌گیرند. در رابطه با کنترل، نیازهای اساسی در کنترل تجهیزات مورد بررسی خواهد بود و این مطالب اصولاً ما را برای شروع طراحی تاسیسات الکتریکی و کنترلی تجهیزات هیدرومکانیک آماده خواهد ساخت.

فصل سوم این رساله مستقیماً درگیر طراحی و محاسبات سیستم‌های مختلف قدرت و کنترل تجهیزات خواهد شد. برای این منظور با در نظر گرفتن یک مشخصات اولیه برای یک مخزنی سد نمونه، بارهایی را که ممکن است در این طرح مورد استفاده قرار گیرند مشخص می‌سازیم. پس از این کار محاسبات مختلف مربوط به روشنایی، سیستم توزیع انرژی الکتریکی (در حالت‌های کارکرد عادی و اضطراری) طراحی مدارات کنترل (محلی و راه دور) سیستم‌های اندازه‌گیری و... انجام خواهد شد. در پایان نیز مدارکی در زمینه‌های فوق به‌عنوان نمونه ضمیمه خواهد گردید.

فصل اول

آشنایی با
انواع و کاربری‌های
مختلف سدها

مقدمه

از گذشته‌های دور انرژی دغدغه همیشگی انسان بوده و هست. هرگاه انسان به آینده جهان پیرامون خود اندیشیده است، عدم وجود انرژی را به‌عنوان مشکلی بزرگ پیش‌روی خود دیده است و همواره در این فکر بوده است که چگونه باید انرژی مورد نیاز خود را در هنگام پایان یافتن منابع انرژی طبیعی که در اطراف خود دارد، تامین کند. همواره صرفه‌جویی در مصرف انرژی و جلوگیری از هدر رفتن آن بهترین، مطمئن‌ترین و ساده‌ترین راه حل بوده و هست. در این میان منابع انرژی وجود دارند که می‌توانند به‌صورت‌های دیگر تبدیل شوند، به‌صورت‌هایی مثل انرژی الکتریکی که بسیار پاکیزه‌تر و مناسب‌تر از دیگر صورت‌های انرژی است.

در این راستا مهار انرژی آبهای جاری سطحی یکی از مناسبترین ایده‌هاست که به ذهن بشر رسیده است. البته استحصال انرژی الکتریکی از انرژی پتانسیل آبهای ذخیره شده در مخازن سدها، ایدهٔ ثانوی این تفکر می‌باشد. که دقیقاً به‌منظور افزایش راندمان پروژه‌های ذخیره و تنظیم آبهای سطحی انجام می‌شود. هدف اصلی از احداث سدها جلوگیری از هرز رفتن آبهای سطحی و هدایت آنها به سمت مصارف دیگر و دستیابی به اهداف تامین آب شرب و کشاورزی است.

با پیشرفت علوم مکانیک و عمران و گرایش‌های مختلف آنها، انسان موفق به طراحی و ساخت سازه‌های مقاوم در برابر سیل و طغیان رودخانه‌ها گردید که این تجربه، دستیابی او را به اهداف فوق تسهیل کرد.

همچون دیگر زمینه‌های زندگی بشری، صنعت برق، به‌منظور کنترل و راه‌اندازی تجهیزات هیدرومکانیک بکار رفته در این سازه‌ها به خدمت گرفته شد. دلایلی نظیر کنترل‌پذیری مناسب، سهولت استفاده، کاربری مناسب و فراوان، پاکیزگی و... .

۱-۱- انواع سدها

سدها را می‌توان از دو نظر دسته‌بندی کرده و مورد مطالعه قرار داد. در این جا این دو دیدگاه به‌صورت جداگانه مطرح می‌گردند. سدها می‌توانند از بتون، سنگریزه، موانع زمینی، صخره‌های شکسته شدهٔ کوه‌ها، چوب، فلز و یا ترکیبی از اینها ساخته شوند. مصالح ساختمانی و شکل سدها به شرایط محیطی، بستر رودخانه، موانع و ضایعات زمینی، امکان ساخت مواد مختلف، قابلیت بکارگیری کارگران و... بستگی دارد.

۱-۱-۱- دسته‌بندی سدها به‌لحاظ شکل و مصالح ساختمانی

سدها را به لحاظ شکل ظاهری و مصالح ساختمانی مورد استفاده در آنها می‌توان به چهار دسته اصلی تقسیم کرد:

۱-۱-۱-۱- سدهای ثقلی (وزنی یا وزنه‌ای)[1]:

سدهای وزنی از نیروی ثقل و وزن آب ذخیره شده در پشت خود، برای مقاومت در برابر فشار وارده از سوی همان آب به دیوار سد استفاده می‌کنند. درست مانند یک اهرم، فشار وارده از وزن آب که به سمت پایین و روی سطح گسترده شده زیر پی آنها وارد می‌شود، باعث ایستادگی و مقاومت دیوارهٔ سد (که به این پهنه متصل است) در برابر آب می‌شود. برای این منظور، سد مخزنی می‌بایست در برگیرندهٔ جرم بسیار سنگینی از آب باشد تا آب ذخیره شده در مخزن نتواند با فشار وارده از سوی خود آنرا واژگون کند. به‌لحاظ شکل ظاهری معمولاً این سدها دارای پی (پایهٔ) بسیار قطورتری از تاج خود هستند به شکلی که نیروهای وارده از سوی آب پشت آنها، با توزیع برروی بدنه سد تعدیل گردد. با افزایش عمق دریاچه سد (یا در واقع افزایش ارتفاع دیواره سد) نیروی افقی که آب بر بدنه سد وارد می‌کند بیشتر می‌شود. هر چه به بالای سد وسطح آب نزدیکترمی‌شویم، از فشار وارده از سمت آب، کاسته می‌شود.

---

1 - Gravity Dams.

بیشتر سدهای وزنی از بتون ساخته می‌شوند که این بتون از مخلوط سیمان پرتلند با ماسه و شن تشکیل شده است. بتون برای ساخت سدها بسیار مناسب است چرا که در مقابل نفوذ آب مقاوم است، دارای استقامت و ایستادگی مناسبی است و البته به شکلهای دلخواه و متنوع درمی‌آید. سدهای بتونی وزنی معمولاً به شکلی ساخته می‌شوند که یک سطح مقطع سه ضلعی با سراشیبی تند (در بالادست) در مقابل جریان و نفوذ آب بسازند. البته سدها بتونی وزنی گران‌تر تمام خواهند شد. اصولاً سدهای بتونی به‌دلیل نیاز به عملیات تخصصی و دانش فنی "**ساخت با بتون**" و نیز حجم فراوان بتونی که برای مقاومت در برابر فشار وارده از سوی آب مورد نیاز است، گران‌تر تمام می‌شوند. به‌عنوان مثال در سد گراندکولی[1]، حدود ۸ میلیون مترمکعب بتون (بیش از ۱۰ میلیون یارد مکعب) بتون بکار رفته است. این مقدار بتون برای ساخت یک پیاده روی دو طرفه به عرض ۱/۲ متر (۴ فوت) و ضخامت ۱۰ سانتیمتر (۴ اینچ) حول کرهٔ زمین و روی خط استوا کافی است. این یکی از سنگین‌ترین سازه‌های بتونی است که توسط بشر ساخته شده است. این سازه ۱۶۸ متر (۵۵۰ فوت) ارتفاع و ۱۵۹۲ متر (معادل ۵۲۳۲ فوت) طول دارد.

۱-۱-۱-۲- سدهای خاکی (خاکریزی)[2]:

مطابق تعریف سد خاکی یک سد وزنی است که از صخره‌های سست، شن، خاک و یا مخلوطی از این مواد ساخته شده است. شیب بالادست و پایین دست سدهای خاکریزی، مسطح‌تر از سدهای مخزنی بتونی است. در واقع شیب آنها به شیب طبیعی تپه‌ها نزدیک‌تر است. این دسته از سدها دارای انواع گوناگونی هستند ولی از این میان، سدهای سنگریزه‌ای[3] و سدهای خاکی ناهمگن[4] معمولترند.

1 - Grand Coulee.
2 - Embankment Dams.
3 - Rock-Fill Embankment Dams.
4 - Zoned Embankment Dams.

سدهای سنگریزه‌ای: از انباشتن مقدار زیادی سنگریزه و صخره‌های سست برروی هم تشکیل می‌شود که از طرف بالادست توسط یک لایهٔ ضدآب، آب‌بند شده‌اند. این لایهٔ آب بند از بتن، تخته سنگ‌های مسطح و یا دیگر مصالح ناتراوا می‌تواند ساخته شود.

سدهای خاکی ناهمگن: این سدها از یک هسته ضد آب (ناتراوا) و بخش‌های پوششی دیگر تشکیل می‌شوند. این بخش‌های پوششی که هسته را در برگرفته‌اند از موادی ساخته شده‌اند که آب می‌تواند به داخل آنها نفوذ کند که معمولاً صخره‌های سست و خرد شده هستند. هسته مذکور می‌تواند از بتن، فولاد، خاک رس یا هر مادهٔ ضدآب دیگری ساخته شود. البته به این هسته اصطلاحاً پردهٔ آب‌بند هم گفته می‌شود.

سدهای خاکی نیز درست مانند سدهای وزنی بتونی، به‌وسیلهٔ نیروی وزن آب پشت آن‌ها و وزن خود بدنه سد، آب را در پشت خود نگهداری می‌کنند. این سدها حجم مواد بیشتری را نیاز دارند چرا که مواد تشکیل‌دهندهٔ این سدها دارای تراکم و استقامت کمتری (نسبت به بتون) هستند بنابراین حجم خاکریزی و عملیات ساختمانی در این نوع سد، به مراتب بیشتر از سدهای وزنی بتونی است. علیرغم حجم زیاد خاکبرداری و خاکریزی و عملیات ساختمانی و نیز مصالح فراوانی که در ساخت این نوع سدها بکار می‌رود، اغلب ساختن چنین سدهایی مطلوبتر و به‌لحاظ اقتصادی به صرفه‌تر است. البته به شرطی که مصالح مورد نیاز برای ساخت بدنهٔ سد، آماده و در دسترس باشد. سدتاربلا[1] که برروی رودخانهٔ ایندوز[2] در پاکستان ساخته شده است، یک سد خاکی با حجم خاکریزی ۱۲۶ میلیون مترمکعب (معادل ۱۶۵ میلیون یارد مکعب) از خاک و سنگریزه می‌باشد که این مقدار بیش از ۱۵ برابر حجم مصالح ساختمانی سدگراندکولی است.

1 - Tarbela.
2 - Indus.

۱-۱-۱-۳- سدهای قوسی

سدهای قوسی معمولاً بتنی هستند و دارای یک شیب می‌باشند که از بالادست به سمت داخل دریاچه کشیده شده است و این دیوار قوسی شکل، روی مسیل رودخانه و درست در محل تنگه عمیقی که رودخانه آن را ایجاد کرده است، ساخته می‌شود. این طرح بر همان اصلی که در مورد گنبدها و قوس‌ها بیان شده، مبتنی است. مطابق این اصل اگر یک نیروی گسترده، عمود بر یک سطح قوسی و یا یک گنبد وارد شود، این نیرو در پهنهٔ آن سطح توزیع شده و به‌دلیل این توزیع، آن سطح مقاومت بیشتری از خود نشان خواهد داد. در این جا هم همین طور است. توزیع نیرو روی سطح قوسی شکل دیواره سد، باعث می‌شود تا این نوع از بدنه بتواند در مقابل فشار وارده از سوی آب، تحمل و استقامت بیشتری از خود نشان دهد. این گونه سدها روی رودخانه‌های کم عرض با خاک‌های صخره‌ای بیشتر و بهتر تاسیس می‌شوند. البته مسیل این رودخانه‌ها باید دارای دره‌های عمیق و تنگ (کم عرض) باشند تا بتوان دیواره سد را روی آن به شکلی مقاوم و مناسب ساخت. بخش اعظم نیروی اعمالی بر دیواره سد که از سوی آب داخل مخزن به آن وارد می‌شود، توسط دیواره‌های دره یا تنگه‌ای که سد در داخل آن بنا شده است، مستهلک می‌شود از اینرو برخلاف سدهای وزنی، هیچ الزامی در سنگین بودن سازهٔ این سدها وجود ندارد. به‌عنوان مثال سد گلن کانیون[1] که روی رودخانهٔ کلرادو[2] در آریزونا[3] ساخته شده است، بلندترین سد قوسی در ایالات متحده امریکاست. این سد ۲۱۶ متر (۷۱۰ فوت) ارتفاع، و ۴۷۵ متر (۱۵۶۰ فوت) طول دارد و در آن نزدیک به ۴ میلیون متر مکعب (کمتر از ۵ میلیون یارد مکعب) بتون استفاده شده است.

شایان ذکر است که سدهای قوسی به‌دلیل حجم کمتر خاکریزی و عملیات ساختمانی، می‌توانند ارزانتر تمام شوند. این مطلب نیز جالب توجه است که این سدها

1 - Glen Canyon.
2 - Colorado.
3 - Arizona.

گاهاً فقط یک قوس (در عرض رودخانه) و بعضاً هم دو قوس (یکی در عرض رودخانه و دیگری در امتداد ارتفاعی سد) دارند والبته تحدب قوس‌ها در هر دو نوع به سمت بالادست می‌باشد.

۱-۱-۱-۴- سدهای پایه‌ای (پشت بنددار) [1]

سدهای پایه‌ای از یک دیوار یا یک سطح تشکیل می‌شوند که به‌وسیلهٔ چندین نگهدارنده در سمت پایین دست خود حمایت می‌شوند. گسترده‌ترین سطح سدهای پایه‌ای از بتونی ساخته می‌شود که به‌وسیلهٔ آرماتورهای فولادی مسلح شده است. پایه‌های نگهدارنده، بسته به اندازه و نوع طراحی سد، در حدود ۶ تا ۳۰ متر از همدیگر فاصله دارند. اغلب اوقات سدهای پایه‌ای را سدهای توخالی (توگود) [2] می‌نامند چرا که این پایه‌ها در تمامی امتداد بدنه اصلی سد گسترده نشده‌اند و به سد (از سمت پایین دست) یک نمای تو خالی و گود می‌دهند. سدهای پایه‌ای به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

سدهای پایه‌ای با یک دال بتونی مسطح در سمت بالادست[3]: این سدها از سمت بالادست دارای یک صفحهٔ بتونی مسطح می‌باشند که اغلب سدهای پشت بند تخت[4] نامیده می‌شوند که نام مبتکر آنها نیل آمبرسن نامگذاری شده‌اند. او یک مهندس امریکایی با اصلیت نروژی بود که طرح ابتکاری او در اوایل قرن ۲۰ به نام او ثبت گردید. سد استونی جرج[5] در کالیفرنیا که روی رودخانه استونی در نزدیکی اورلاند ساخته شده است نمونه بارزی از این سد است که ۴۲ متر ارتفاع دارد و طول آن ۲۶۴ متر است و عملیات بتون‌ریزی آن ۳۳۰۰۰ مترمکعب (معادل ۴۳۱۰۰ یاردمکعب) حجم داشته است.

---

1 - Buttress Dams.
2 - Hollow.
3 - Flat Slab.
4 - Ambursen Dams.
5 - Stony Gorge.

سدهای پایه‌ای چند قوسی[1]، دسته دیگر این سدهاست. این سدها در بالادست شامل چندین قوس هستند که این قوس‌ها از بالای سد تا فونداسیون آن کشیده شده‌اند. سد بارتلت[2] که رودخانه ورد[3] در نزدیکی فونیکس آریزونا ساخته شده است یک سد چند قوسی پایه‌ای است. ارتفاع این سد ۹۴ متر، طول تاج آن ۲۴۴ متر و حجم بتون‌ریزی آن ۱۴۰۰۰۰ مترمکعب (معادل ۱۸۲۰۰۰ یارد مکعب) می‌باشد.

سدهای پایه‌ای نیز مثل سدهای قوسی نیازمند بتون کمتری نسبت به انواع وزنی بتونی است.

۱-۲- بخش‌های اساسی یک سد مخزنی

قسمت‌های اساسی یک سد مخزن شامل: بدنه- مسیر انحرافی- مجاری ورودی و آبگیرها، مجاری خروجی و سرریز می‌باشد که در ادامه در مورد هر کدام توضیح مختصری ارائه خواهد شد.

۱-۲-۱- بدنه سد

بدنه سد مهمترین عامل تحمل‌کننده فشار حاصل از انباشت آب و جریان‌های ضربه‌ای که از داخل مخزن بر این سازه وارد می‌آیند، می‌باشد. این امواج به‌دلیل تحرک جریان‌های ورودی، سیلاب‌ها و نیز امواج سطحی دریاچهٔ مخزن سد به‌وجود می‌آیند. شکل بدنه سد، بته به کاربری سد، سرعت و دبی رودخانه، شکل داخل مخزن و... انتخاب می‌شود و براساس نوع این سازه مصالح مورد استفاده انتخاب خواهد شد. اگر در جهت رودخانه‌ای که سد روی آن بنا شده بایستیم به‌طوری که رویمان در مسیر حرکت رودخانه قرار گیرد، به پشت سرما اصطلاحاً *بالادست* و روبرویمان را *پایین دست* می‌گویند. پس همانگونه که قبلاً بحث گردید، شکل و مصالح مورد استفاده با نوع و

1 - Multiple Arch Dams.
2 - Barttress Dams.
3 - Verde River.

کاربری سد ارتباط دارد و آنچه از این میان برای ما و در این پروژه مهم است، ارتفاع سازهٔ بدنه سد است. این ارتفاع میزان ذخیره و جمع‌آوری آب بالادست را تعیین خواهد کرد و متناسب با افزایش ارتفاع آب پشت سد، فشار مجراهای خروجی سد (که در ادامه توضیح داده می‌شوند) افزایش خواهد یافت. در سدهایی که ارتفاع بلندی دارند، می‌توان به‌دلیل وجود فشار مناسب، ورودی یا ورودی‌هایی برای احداث نیروگاه‌های برق‌آبی در نظر گرفت.

از طرفی بدنه سد معمولاً دارای گالری‌هایی می‌باشد که از طریق آنها امکان دسترسی به تجهیزاتی که در ورودی‌ها و خروجی‌ها نصب شده‌اند وجود دارد. همچنین ابزار دقیقی هم نصب می‌شوند تا میزان رانش[1] یا تغییر شکل[2] بدنه سد را اندازه‌گیری کنند. این بررسی‌ها به‌منظور یافتن میزان تحمل یا آستانه تحمل ناپذیری سازهٔ سد در برابر نیروهای سیلاب، زلزله و... انجام می‌شوند.

۱-۲-۲- *مسیر انحرافی*[3]

این مسیر در ابتدای عملیات ساختمانی و سیویل سد ایجاد می‌گردد. با ایجاد این مسیر، راه عبور آب رودخانه را از مسیر اصلی منحرف کرده و بستر رودخانه را برای احداث سد مورد استفاده قرار می‌دهند.

گاهاً ممکن است برای ایجاد مسیر انحرافی مجبور به حفر تونل از داخل کوه‌ها و صخره‌های اطراف گردند که به آن تونل انحراف[4] می‌گویند. پس از احداث سد معمولاً این تونل بسته یا اصطلاحاً پلاگ (Plug) می‌شود. ولی گاهاً ممکن است از همین تونل یا مسیر انحرافی به‌عنوان یک خروجی با یک کاربری خاص استفاده گردد. به‌منظور بهینه‌سازی و صرفه‌جویی در عملیات اجرایی، در هر جا که چنین امکانی وجود داشته

1 - Body Movement.
2 - Deformation.
3 - Diversion.
4 - Diversion Tunnel.

باشد، مسلماً در طرح منظور خواهد شد. کاملاً مشخص است که شکل و نحوه ایجاد این مسیر نیز به مکان احداث آن و خصوصیات رودخانهٔ مورد نظر بستگی خواهد داشت. ولی به هر صورت به‌لحاظ تجهیزات معمولاً آیتم برقی و کنترلی برای آن تعریف نمی‌گردد. از اینرو در مباحث این پایان‌نامه، به همین مقدار بسنده می‌کنیم.

۱-۲-۳- مجاری ورودی و آبگیرها

این مجاری برحسب کاربرد به انواع زیر تقسیم‌بندی می‌گردند.

۱-۲-۳-۱- مجرای آب شرب[1]

معمولاً در مناطقی که به‌لحاظ جغرافیایی و محلی، دارای آب‌های سطحی شیرین و مناسب شرب هستند سدهای مخزنی برای ذخیره و استحصال آب قابل شرب احداث می‌شوند. در چنین سدهایی یک مجرا برای برداشت آب مناسب جهت شرب از دریاچه و مخزن سد در نظر گرفته می‌شود. معمولاً به لحاظ ارتفاعی، این مجرا در مکانی قرار دارد که از جریان‌های شدید آب در امان باشد و آب ورودی این مجرا حتی‌المقدور فاقد املاح و رسوبات باشد. این مجرا پس از ورودی دارای تاسیسات و تجهیزاتی است که معمولاً به یک خط لوله منتهی می‌شوند و از آنجا به تصفیه‌خانه‌ها فرستاده می‌شود. ممکن است در محل نیز برای مصارف نزدیک و تقریباً محلی، تصفیه خانه‌های کوچکی هم در کنار سد احداث شوند. سد پانزده خرداد در استان اصفهان و یا سد شهر چای در استان آذربیجان غربی از جمله سدهایی هستند که به‌منظور تامین آب شرب احداث گردیده‌اند.

۱-۲-۳-۲- مجرای آبیاری کشاورزی[2]

یکی از بزرگترین اهداف تاسیس سدهای مخزنی، انباشت آب جهت برداشت مداوم و جلوگیری از هرز رفتن آبهای سطحی و جاری است. انباشت آب در این مخازن

1 - Potable Water Line.
2 - Irrigation Line.

به‌منظورهای مختلف صورت می‌گیرد که یکی از آنها تامین آب جهت کشاورزی و آبیاری مزارع و مراتع است. با این کار حتی در محل‌هایی که از نظر جغرافیایی تقریباً خشک هستند نیز می‌توان علاوه بر محصولات دیم، محصولات آبی برداشت کرد. به‌عنوان نمونه می‌توان سد سنگرد را در نزدیکی شهرستان سبزوار، از جمله سدهایی نام برد که به‌منظور تامین آب کشاورزی احداث گردیده است. شهرستان سبزوار از نظر تداوم بارش مناسب و میزان کافی آب‌های سطحی در مضیقه است و این امر قابلیت برنامه‌ریزی برای کشت محصولات کشاورزی آبی را از بین می‌برد. ولی با احداث این سد و تداوم آبیاری در زمان‌های مناسب می‌توان محصولات مناسب کشت، و برداشت نمود.

۱-۲-۳-۳- مجرای تخلیه‌کننده عمقی (تخلیه‌کننده تحتانی) [1]

همانگونه که از نام آن پیداست، این مجرا در پایین‌تر نقطه (به‌لحاظ ارتفاعی) از بدنه سد قرار دارد (تقریباً در کف مخزن سد) و وظیفهٔ آن تخلیه رسوبات و گل و لای انباشته شده در کف دریاچه سد است. پس از هر سیلاب و در فصل آب‌گیری (که در مناطق مختلف، متفاوت است) آبهای سطحی در مسیر خود گل و لای و رسوباتی را شسته و به داخل دریاچهٔ سد می‌ریزند. با انباشت این رسوبات علاوه بر کم شدن حجم مخزن، ذخیره آب نیز دچار مشکل می‌شود و علاوه بر آن، در سدهایی که به‌منظور تامین آب شرب تاسیس گشته‌اند، کیفیت آب شرب نیز پایین خواهد آمد. بدین منظور، معمولاً در هر سدی یک یا چند مجرا (بسته به دبی ورودی رودخانه در فصل آبگیری) تاسیس می‌گردد تا تخلیه رسوب از داخل مخزن تسهیل گردد. در مورد تجهیزات هیدرومکانیکی مورد استفاده در این مجرا نیز در قسمت‌های بعدی صحبت به میان خواهد آمد.

1 - Bottom Outlet.

۱-۲-۳-۴- *مجرای ورودی نیروگاه*[1]

همانگونه که قبلاً بحث شد، در سدهایی که از ارتفاع مناسب برخوردار باشند، به‌منظور تامین بخشی از انرژی الکتریکی مورد نیاز شبکه برق، با احداث نیروگاه برقآبی، استفاده بهینه به‌عمل خواهد آمد. البته لازم به ذکر است که ممکن است ارتفاع مخزن سد خیلی هم زیاد نباشد ولی بتوان آن سد را در نقطه‌ای احداث کرد که در پایین دستش، در محل مناسبی امکان احداث نیروگاه وجودداشته باشد. در این صورت برای آبرسانی به توربین‌های آبی نیروگاه‌های برقآبی مورد نظر، از یک مجرا استفاده می‌کنند که به آن *ورودی نیروگاه* یا *تونل تحت فشار* می‌گویند. این تونل معمولاً در ورودی ابعاد بزرگی دارد و هر چه به انتها نزدیکتر می‌شود از قطر آن کاسته می‌شود (به‌صورت مقطعی نه مداوم) این امر باعث افزایش فشار جریان آب جاری در آن خواهد شد و این افزایش فشار نیروی لازم برای گرداندن توربین و ژنراتور کوپل شده به آن را فراهم خواهد آورد. تونل‌های فشار ورودی نیروگاه، معمولاً تجهیزات خاصی دارند که در ادامه مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۱-۲-۴- *مجاری خروجی*[2]

مجاری خروجی نیز، همانند مجاری ورودی یک سد به چند خروجی مهم تقسیم می‌شوند:

۱-۲-۴-۱- *مجرای خروجی سیستم آب شرب*

خروجی این بخش با توجه مطالبی که در قبل گفته شد، می‌تواند به یک خط لوله و یا مستقیماً به یک تصفیه‌خانه منتهی شود. البته معمولاً این خروجی به خط لوله منتهی می‌شود تا پس از خروج از سد، از طریق این خط لوله به تصفیه خانه منتقل شود.

---

1 - Penstock.
2 - Outlets.

۱-۲-۴-۲- *مجرای خروجی آبیاری کشاورزی*[1]

فلسفه طراحی و ساخت خط یا خطوط آبیاری کشاورزی که تقریباً در تمامی سدها موجود می‌باشد، مطابق آنچه قبلا ذکر گردید، تامین آب کشاورزی مورد نیاز مراتع و مزارع احداث شده درمناطق اطراف سد می‌باشد. معمولاً خروجی این مجاری به کانال‌های روبازی که در امتداد مناطق زیرکشت مجاور سد تعبیه شده‌اند، می‌ریزد. بعضی اوقات هم خروجی این مجاری به مسیل قبلی رودخانه ریخته می‌شود که به‌صورت طبیعی قبلاً حفر گردیده است.

۱-۲-۴-۳- *مجرای خروجی سیستم تخلیه‌کننده عمقی*

خروجی سیستم تخلیه تحتانی معمولاً به یک حوضچه می‌ریزد چرا که به‌دلیل پایین بودن تراز ورودی این کانال و شیبی که معمولاً موقع ساخت برای آن در نظر می‌گیرند، فشار خروجی این مجرا بسیار زیاد است. از طرفی آب خروجی از این مجرا، حاوی املاح، گل و لای و سنگ‌ها و اجسام سخت است که با قرار گرفتن در جریان شدید آب خروجی از این مجرا، می‌توانند مخرب محیطزیست و عاملی برای فرسایش محیط باشند، از اینرو به‌وسیلهٔ ایجاد حوضچه‌ای به‌نام حوضچه *آرامش* در مجاورت خروجی، از فرسایش و تخریب محیطزیست جلوگیری می‌کنند.

شایان ذکر است که در صورتی که خروجی آبیاری کشاورزی و تخلیه تحتانی یکی باشد، یعنی از همان کانال طبیعی رودخانه برای برداشت آب مورد نیاز کشاورزی استفاده شود، در اینصورت خروجی آبیاری کشاورزی نیز به همین حوضچه ریخته خواهد شد.

---

1 - Irrigation Outlet.

۱-۲-۴-۴- *خروجی نیروگاه*

خروجی نیروگاه نیز به‌دلیل وجود فشار زیاد آب در این خروجی، به یک حوضچه آرامش می‌ریزد. این حوضچه نیز به همان مسیر آبیاری یا مسیر قبلی رودخانه مرتبط است.

۱-۲-۴-۵- *خروجی سرریز*[1]

در بلندترین نقطهٔ سد که *تاج* سد نامیده می‌شود یک یا چند شکاف به‌صورت دروازه وجود دارد که هر کدام به یک دریچه مجهز هستند. دلیل وجود این دریچه‌ها که به دریچه‌های سرریز موسومند، آنست که در هنگام بروز سیلاب و تهاجم ناگهانی امواج، در صورت پر بودن سد، این امواج به لبهٔ فوقانی سد و تاج آن آسیبی وارد نکنند و به‌جای سرریز شدن از بالای تاج، از این محل خارج شوند. در خروجی این دریچه‌ها یک مسیر (معمولاً بتنی) برای مستهلک کردن انرژی آب خروجی و انتقال این آب به محل مناسب که معمولاً همان مسیل اصلی رودخانه است، قرار دارد. این مسیر به سرسرهٔ سرریز[2] معروف است.

۱-۳- تجهیزات مربوط به بخشهای مختلف

در این بخش سعی می‌کنیم تا تجهیزات اساسی و معمول مربوط به قسمت‌های مختلف یک سد مخزنی را به‌طور خلاصه تشریح کنیم. این تجهیزات را در دو دسته مربوط به خروجی‌ها و ورودی‌ها تشریح می‌کنیم.

۱-۳-۱- *تجهیزات مربوط به ورودی‌ها*

در ورودی‌های مجاری مختلف دو تجهیز اساسی وجود دارند که عبارتند از:

---

1 - Spillway Outlet.
2 - Spillway Shoot.

۱-۳-۱-۱- *آشغالگیرها*[1]

آشغالگیرها وظیفه جلوگیری از ورود اجسام نسبتا بزرگ و معلق در آب دریاچه را به داخل لوله‌ها و مجاری مختلف دارند. این آشغالگیرها معمولاً از سازه‌های مشبکی ساخته می‌شوند که از جنس فولاد هستند. اندازهٔ این پنجره‌ها بستگی به محل نصب و کاربرد مجرایی دارد که آن آشغالگیر روی آن نصب می‌شود. به‌عنوان مثال آشغالگیری که در ورودی آب شرب نصب می‌شود دارای شبکه‌های کوچکتری نسبت به آشغالگیری که در ورودی سیستم تخلیه‌کننده عمقی وجود دارد، می‌باشد. چرا که در مجرای آب شرب هیچ ذرهٔ بزرگی نباید وارد شود و این در حالی است که از مجرای تخلیه تحتانی حتی قلوه سنگ‌های بزرگتر و گل‌ولای هم باید خارج شوند. اندازهٔ این پنجره‌ها استاندارد است و براساس اندازه خاصی ساخته می‌شوند. شاید ذکر این نکته جالب باشد که در مجاری آب شرب برای جلوگیری از ورود ماهی‌ها و جانوران آبزی از صفحات توری شکلی بنام *توری ماهیگیر*[2] استفاده می‌شود. چگونگی و شکل سازهٔ آشغالگیر از حوصلهٔ این پایان‌نامه خارج است ولی به‌عنوان نمونه می‌توان به شکل ۱-۱ اشاره کرد که نمونه‌ای از یک آشغالگیر با سازهٔ فلزی است. البته آشغالگیرها را از بتون نیز ممکن است بسازند ولی آشغالگیر فلزی معمولتر است.

شکل ۱-۱- نمونه‌ای از یک آشغالگیر فلزی

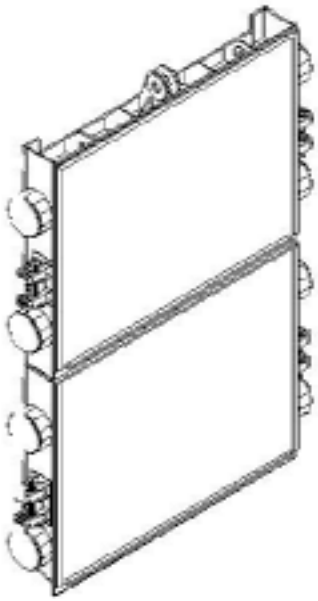
1 - Trashracks.
2 - Fish Screen.

۱-۳-۱-۲- *دریچه‌های رأس*[1]

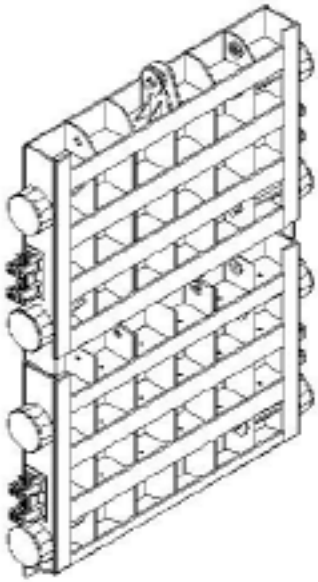
دریچهٔ رأس اولین تجهیز فلزی است که به‌منظور کنترل جریان آب، پس آشغالگیر در یک مجرای ورودی قرار می‌گیرد. وظیفه اصلی این دریچه قطع جریان آب (به‌طور کامل) و جلوگیری از ورود آب به داخل مجرا به‌منظور تعمیرات یا سرویس‌های دوره‌ای تجهیزات پایین دست منصوبه در آن مجرا می‌باشد. دریچه‌های رأس انواع مختلف دارند که معمولترین نوع آن غلطکی است. این دریچه‌ها بین دو ریل بنام *ریل‌های هدایت کننده*[2] حرکت می‌کنند. معمولا این ریل‌ها به‌صورت عمودی نصب می‌شوند و در بعضی سدها هم به‌صورت شیبدار. معمولاً در سدهای بتونی مسیر حرکت این دریچه‌ها عمودی است و در سدهای خاکی به‌دلیل وجود شیب زیاد در بدنهٔ سد، گاید ریل‌ها روی بدنه قرار می‌گیرند و به‌صورت شیبدار نصب می‌شوند. نکته مهم در مورد این دریچه‌ها اینست که شکل سازهٔ این دریچه‌ها که به آنها اصطلاحاً Stop Log هم گفته می‌شود، به‌گونه‌ای است که تحت جریان آب نمی‌توانند باز یا بسته شوند و به‌لحاظ طراحی، تحمل ارتعاش ناشی از ضربات ذرات آب به دریچه، برای ریل‌های هدایت‌کننده غیرممکن است. از اینرو در وضعیتی که تعادل فشار آب در دو طرف دریچه برقرار شود، مجاز به باز یا بسته شدن هستند. البته اجتناب از بروز پدیده کاویتاسیون نیز دلیل دیگری است ک این فلسفه کنترلی را بر این دریچه حاکم کرده است. برای انجام و ایجاد این تعادل، یک شیر روی این دریچه در نظر گرفته می‌شود تا قبل از باز شدن دریچه این شیر که به شیر کناگذر[3] موسوم است به‌صورت اتوماتیک مسیر عبور آب را برای برقراری تعادل فشار در دو طرف دریچه مهیا سازد. پس از تعادل فشار در دو طرف دریچه، دریچه آمادهٔ باز شدن خواهد بود. در فصل‌های بعد که در مورد سیستم‌های کنترل بحث خواهیم کرد، این

1 - Intake Gates.
2 -Guide Rails.
3 - By – Pass Valve.

موضوع بیشتر مورد بررسی قرار خواهد گرفت. نمونه‌ای از یک استاپ‌لاگ غلطکی در شکل ۱-۲ آورده شده است.



نمای سه بعدی (از بالا دست)



نمای سه بعدی (از پایین دست)

شکل ۱-۲- نمونه‌ای از یک دریچه راس غلطکی

۱-۳-۱-۳- دهانهٔ شیپوری[1]

این سازه در ورودی مجرای آب‌گیر قرار می‌گیرد و یک شکل شیپوری دارد. وظیفهٔ این تجهیز تغییر سرعت و فشار سیال در ورودی مجرا می‌باشد که با تغییر میزان سطح در مقطع لوله این امر میسر می‌گردد. این تجهیز معمولاً فلزی است و پس از ساخت و نصب در مجرای ورودی، مدفون می‌گردد. از اینرو جزو بخشهای مدفون می‌باشد[2].

1 - Bell Mouth.
2 - Embedded Parts.

۱-۳-۱-۴- تبدیل کننده سطح مقطع[1]

این تجهیز نیز از فلز ساخته می‌شود وظیفهٔ تغییر شکل مقطع مجرا را به‌عهده دارد. از آنجا که ساخت سازه‌های بتنی به شکل چهارگوش راحت‌تر است و قالب‌های مورد نیاز برای بتن‌ریزی به این اشکال بیشتر در دسترس هستند، معمولاً ورودی‌های بتنی مجراهای مختلف به شکل چهارگوش (مستطیل و مربع) هستند. از طرفی ساخت مجاری فلزی به شکل لوله و با سطح مقطع دایره‌ای ساده‌تر و کم هزینه‌تر است. از اینرو برای اتصال این دو مقطع از یک سازهٔ فلزی به‌نام ترانزیشن استفاده می‌شود.

۱-۳-۱-۵- کاهنده[2]

محاسبات مربوط به سطح مقطع هر بخش از مجاری آب‌بر، قطر لاینینگ را در آن محل مشخص می‌کند. گاهاً این قطر یا در مقاطع استاندارد نیست یا بسیار بزرگتر از سایزهای استاندارد است. فرض کنید می‌خواهیم یک لوله با قطر ۷ متر را به یک شیر پروانه‌ای با قطر ۵/۶ متر متصل کنیم. برای این منظورمجبوریم سطح مقطع لوله را کاهش دهیم پس از یک تجهیز فلزی به‌نام کاهنده استفاده می‌کنیم که سطح مقطع ورودی آن به قطر ۷ متر و خروجی آن به قطر ۵/۶ متر است. البته آنچنان‌که قبلا نیز اشاره شد، کاهش سطح مقطع توسط این تجهیز، باعث افزایش فشار سیال در آن مجرا خواهد شد.

۱-۳-۲- تجهیزات مربوط به خروجی‌ها

۱-۳-۲-۱- شیرهای کنترل دبی[3]

همانگونه که از نام این شیرها برمی‌آید وظیفه آنها کنترل دبی خروجی یک مجراست. این شیرها به‌گونه‌ای طراحی می‌شوند که توانایی و تحمل فشار، ضربه و

1 - Transition.
2 - Reducer.
3 - Service Valves.

اصطکاک حاصل از فرسایش آب در لولـهٔ مزبـور را دارا باشـند. ایـن شـیرها بسـته بـه کاربرد و فشارها و هدهایی که در آنها کار می‌کنند به‌گونه‌های مختلف تقسیم مـی‌شـوند که هر کدام ویژگی و خصوصیت خود را داراست. این شـیرها عمومـاً بـه ۴ دسـتهٔ زیـر تقسیم‌بندی می‌شود.

۱- هالوجت، ۲- هاول بانگر، ۳- سوزنی، ۴- مخروطی

بررسی خصوصیات هر کدام از این انواع با پروژهٔ ما ارتباطی ندارد و در این رابطه، همین مقدار کفایت می‌کند. آنچه در مورد این شیرها از نقطه نظـر الکتریکـی مهـم اسـت، عملگر[1] شیر است که در فصل پایانی توضیحات جامع‌تری داده خواهد شد.

۱-۳-۲-۲- دریچه‌های کنترل دبی

همانند شیرهای کنترل دبی، این دریچه‌ها نیز کار کنترل میزان آب خروجی از مسیر را به عهده دارند. بسته به این که در چه مجرایی استفاده شـوند، نـوع و سـاختمان آنهـا متفاوت است. این دریچه‌ها معمولاً به شکل چهارگوش هستند چرا که ساخت سازه‌هـای فلزی به این شکل ساده‌تر و کم هزینه‌تر است ولی بسته به کاربرد و محل استقرار آنهـا، ممکن است به شکل دیگری ساخته شوند. معمولترین نـوع ایـن دریچـه‌هـا کـه بـه شـکل مستطیلی هم ساخته می‌شوند دریچه‌هایی از نوع کشویی[2] و به‌نام *اسلاید* هستند.

از این دسته می‌توان به دریچه‌های سـرویس اشـاره کـرد کـه معمـولاً در خروجـی مجرای تخلیه‌کننده عمقی قرار می‌گیرند و توانـایی کنتـرل دبـی آب خروجـی از مجـرا را دارند. این نوع دریچه می‌تواند بین حالت‌های "کاملاً باز" و "کاملاً بسته" قرار گیرد و بسته به‌میزان گشودگی آن، دبی خروجی از مجرا متفاوت خواهد بود.

---

1 - Actuator.
2 - Slide Gates.

۱-۳-۲-۳- شیرها و دریچه‌های محافظ[1]

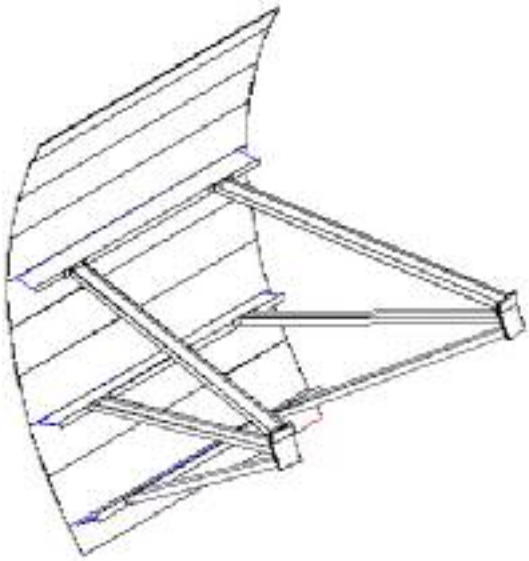
به عکس گروه قبلی که به‌منظور کنترل دبی خروجی مسیر به‌کار گرفته می‌شدند، این دسته از شیرها و دریچه‌ها فقط کار قطع و وصل جریان آب را برعهده دارند. در طراحی و ساخت این گونه دریچه‌ها و شیرها محاسبات مربوط به توانایی تجهیز در برابر عبور جریان آب در حالت نیمه‌باز، و محاسبات مربوط به سایش، اصطکاک و فشار حاصل از این وضعیت، به‌گونه‌ای بهینه لحاظ می‌شود. در واقع این دریچه‌ها و شیرها برای کار دائم در این حالت ساخته نمی‌شوند ولی البته توانایی کار غیرمداوم و به‌صورت اضطراری را در این شرایط دارا خواهند بود. اصولاً وظیفه اصلی این دو تجهیز قطع و وصل کامل جریان است و دلیل طراحی آنها به شکلی که توصیف شد، صرفاً طراحی بهینه و صرفه‌جویی اقتصادی است. همانگونه که از نام آنها پیداست این تجهیزات معمولاً در شرایط اضطراری قدرت مسدود کردن مجرا را به صورت اضطراری خواهند داشت ولی برای کار مداوم در آن شرایط طراحی و ساخته نمی‌شوند و هر بار که تحت شرایط وجود جریان آب بسته شوند امکان صدمه دیدن تجهیز وجود دارد و از عمر آن کاسته خواهد شد. یکی از شرایط وجود جریان آب بسته شوند امکان صدمه دیدن تجهیز وجود دارد و از عمر آن کاسته خواهد شد. یکی از شرایط اضطراری که از آن نام بردیم، می‌تواند افزایش بیش از حد *دبی خروجی* مجرا باشد. در این حالت *سرعت* آب گذرنده از لوله که با دبی خروجی لوله رابطه مستقیم دارد، به‌قدری زیاد می‌شود که اصطکاک سیال با دیوارهٔ لوله و نیز ضرباتی که حین حرکت از طرف سیال و اجرام معلق در آن به بدنه لوله وارد می‌شود، می‌تواند موجب انهدام مجرا و یا حتی از بین رفتن خود شیر و... گردد. در چنین شرایطی است که بستن شیر و یا دریچهٔ محافظ توجیه پیدا می‌کند. در مجاری تخلیه تحتانی، معمولاً دریچهٔ گارد قبل از دریچه سرویس قرار می‌گیرد. در مجاری که سطح مقطع گرد و دوار دارند معمولاً از شیر محافظ

1 - Guard Gates & Values.

استفاده می‌شود که معمولترین نوع این شیرها، شیرپروانه‌ای[1] نـام دارد. در شـکل ! یـک شیر پروانه‌ای را مشاهده می‌کنید.

۱-۳-۲-۴- دریچه‌های خروجی سرریز

همانطور که در بخش ۱-۲-۴-۵ ذکر گردید، ایـن دریچـه‌هـا در محـل سـرریز سـد نصب می‌شوند و کار آنها افزایش ارتفاع مفید سد (به هنگام بسـته بـودن) و نیـز کنتـرل امواج سهمگین سیلاب‌ها و طوفان‌ها و نیز کنتـرل سـطح نهـایی آب دریاچـه (بـه هنگـام بازبودن) می‌باشد. در این بخش هـدف توضـیح در مـورد انـواع ایـن دریچـه‌هاسـت. در سرریزها گاهاً هیچ دریچه‌ای نصب نمی‌شود که به آنهـا "سـرریز آزاد" مـی‌گوینـد ولـی معمولترین نوع دریچه‌ای که در سرریزهای سدها استفاده می‌شود، دریچه‌های قطـاعی[2] می‌باشند. این دریچه‌ها معمولاً قطاع یا بریده‌ای از یک استوانه هستند کـه سـطح محـدب آنها روبه بالادست سد قرار می‌گیرد و توسـط یـک محـرک حـول محـور خـود حرکـت می‌کنند. نمایی از یک دریچه قطاعی (رادیال)، در شکل ۱-۳ نمایش داده شده است.



شکل ۱-۳- نمایی از یک دریچهٔ قطاعی

1 - Butterfly Valves.
2 - Radial Gates.

۱-۳-۳- محرک‌ها و عملگرهای تجهیزات و انواع آنها

برای مانورکردن تجهیزات هیدرومکانیک در یک سد، می‌بایست از عملگرها[1] کمک گرفت. به‌طور معمول از عملگرهای هیدرولیکی و برقی برای این منظور استفاده می‌شود. انتخاب هر نوع از این دو عملگر با توجه به ویژگی‌های آنها انجام می‌شود. در ادامه به بررسی خصوصیات هرکدام خواهیم پرداخت.

۱-۳-۳-۱- عملگرهای برقی

بدیهی است که به‌صورت معمول و تقریباً در اغلب موارد یک محرک، برقی و دارای موتور است و انرژی حرکتی مورد نیاز خود را از حرکت دوار آن استحصال می‌کند. این موتورها معمولاً سه فاز هستند چرا که وجود موتورهای سه فاز در یک سیستم سه فاز الکتریکی، علاوه بر تولید توان مناسب، دارای مزایای دیگری از قبیل ایجاد تقارن در بار فازها، پیوستگی و یکنواختی حرکت دوار در موتور، افزایش طول عمر مفید آن تجهیز الکتریکی و... نیز می‌باشد. از اینرو استفاده از موتورهای سه فاز در عملگرهای برقی بسیار معمول و متداول است.

از عملگرهای برقی بیشتر در شیرها استفاده می‌شود. با استفاده از یک کوپلینگ مناسب عملگر به محور شیر متصل می‌شود و با استفاده از نیروی عملگر، شیر را باز یا بسته می‌کنند. از محاسن استفاده از عملگرها می‌توان به سرعت ثابت و مناسب در عملکرد، افزایش امکانات کنترلی برای آن تجهیز، سهولت در بکارگیری و صدور فرمان از محلهای مختلف و... اشاره کرد. عملگرهای برقی قدرت محدودی دارند و معمولاً مصارف آنها در مواردی است که نیاز به قدرت فراوانی نباشد چرا که برای دستیابی به توان بالا در این گونه عملگرها می‌بایست انرژی الکتریکی زیادی را بکار گرفتا و این هم محدودیت‌های خاص خود را داراست. در چنین مواردی بهترین جایگزین برای عملگر برقی، عملگرهای هیدرولیکی هستند.

---

1 - Actuators.

۱-۳-۳-۲- *عملگرهای هیدرولیکی*

در این گونه محرکها با استفاده از یک یا چند پمپ الکتریکی، فشار مناسبی را برای سیستمهای هیدرولیک فراهم می‌کنند تا با اعمال این فشار به سیلندرها و پیستونهایی که در تجهیزات در نظر گرفته شده است، نیروی لازم برای عملکرد آن تجهیز فراهم آید، این گونه محرک‌ها در جاهایی کاربرد دارند که نیروی زیادی مورد نیاز باشد. در سیستم‌های تخلیه‌کنندهٔ عمقی سدها معمولاً از نیروی هیدرولیک جهت مانورکردن دریچه‌ها استفاده می‌گردد. همانگونه که قبلاً ذکر گردید این مجرا در پایین‌ترین سطح، و در عمق دریاچه قرار دارد. به همین دلیل فشار هیدرواستاتیک زیادی پشت دریچه ایجاد می‌گردد و دریچه را به قاب خود می‌فشارد و اصطکاک بین دریچه و قاب آن به حدی بالا می‌رود که نیروی فراوانی برای غلبه بر این اصطکاک مورد نیاز قرار می‌گیرد. در این حالت استفاده از نیرو و انرژی برق به لحاظ اقتصادی و عملی گرانتر از بکارگیری نیروی هیدرولیک می‌گردد. برای این منظور از یک محرک هیدرولیکی استفاده می‌گردد. این محرک شامل یک پیستون است که به دریچه متصل است. همچنین یک واحد تولید قدرت هیدرولیک موجود است، که توسط لوله‌ها و شیلنگ‌های مخصوص، روغن مورد نیاز را با فشار مناسب به پیستون مذکور منتقل کرده و موجبات مانور دریچه را فراهم می‌آورد.

۱-۴- پارامترهای اساسی تحت کنترل در یک سد

پس از تاسیس یک سد بررسی و کنترل بعضی پارامترها مورد توجه قرار می‌گیرد. بررسی این پارامترها می‌تواند به‌منظور برداشت‌های آماری، بررسی وضعیت تجهیزات و سازهٔ سد، برنامه‌ریزی برای تولید، توزیع و کنترل مناسب منابع آب و... صورت می‌گیرد. در ادامه، انواع این پارامترها و چگونگی برداشت آنها را مورد بررسی قرار خواهیم داد.

۱-۴-۱- سطح آب مخزن

سطح آب مخزن در برآورد میزان ذخیرهٔ آب سد مورد استفاده قرار می‌گیرد. داشتن آمار فصلی برای این آیتم می‌تواند در برنامه‌ریزی برای توزیع مناسب آب در بخشهای آبیاری کشاورزی و آب شرب مورد استفاده قرار گیرد. روش معمول برای دستیابی به میزان سطح آب دریاچه سد، استفاده از فشار هیدرواستاتیک است که با ارتفاع آب مخزن متناسب است. برای این منظور از یک سنسور فشار استفاده می‌شود. این سنسورها انواع مختلفی دارند که هر کدام برای سنجش فشار از روش‌های گوناگونی استفاده می‌کنند. از این میان می‌توان به انواع دیافراگمی و پیزوالکتریک اشاره کرد.

بررسی چگونگی کارکرد این سنسورها، جزو اهداف این پایان نامه نیست و به همین مقدار در این زمینه بسنده می‌کنیم. این سنسورها در یک عمق خاص نصب می‌گردند و متناسب با فشار ستون آب بالای سر آنها که به سنسور وارد می‌شود، ارتفاع آب را با توجه به فرمول زیر محاسبه می‌کنند.

$$H = \frac{P}{\rho g}$$

این سنسورها در دو نوع مستغرق[1] و قابل نصب روی لوله[2] وجود دارند که البته هر کدام بسته به محل مورد استفاده، حفاظتهای لازم را فراهم می‌آورند.

۱-۴-۲- گرفتگی آشغالگیر

به‌منظور کنترل میزان گرفتگی آشغالگیرهای نصب شده در ورودی‌های مختلف از روش‌های گوناگونی استفاده می‌شود ولی معمولترین روش، اندازه‌گیری اختلاف فشار دو طرف آشغالگیراست. برای این منظور از دو سنسور فشار استفاده می‌شود که در دو طرف آشغالگیر نصب شده‌اند و اختلاف فشارهای اندازه‌گیری شده توسط این دو سنسور که همان افت فشار ناشی از حرکت آب از میان آشغالگیر است، با میزان گرفتگی

1 - Submersible.
2 - On Pipe Mounted.

آشغالگیر متناسب است. در اکثر سدهای بتونی، لوله‌هایی برای انتقال فشار وارده از سوی سیال به سنسور، در بتن مدفون می‌شوند. معمولاً از دو لوله برای این کار استفاده می‌شود که یکی، نمونه‌ای از فشار بیرون آشغالگیر و دیگری نمونه فشار داخل لاینینگ را به سنسور منتقل می‌کنند.

سنسوری که در این روش بکار می‌رود مستقیماً اختلاف دو فشار اندازه‌گیری شده را در خروجی خود گزارش می‌کند و اصطلاحاً به آن D.P.T[1] گفته می‌شود. در پروژه‌هایی که امکان نصب این لوله‌ها وجود ندارد، از دو سنسور جداگانه استفاده می‌شود که نمونه فشارهای مزبور را به‌دست می‌دهند و بعد از اندازه‌گیری اختلاف این دو نمونه، میزان گرفتگی آشغالگیر به‌دست می‌آید.

۱-۴-۳- دبی آب در خروجی‌ها

این پارامتر عمدتاً به‌منظور برآورد حجم آب خروجی از سد برای مصارف مختلف بکارگرفته می‌شود اما از آنجا که دبی آب در مسیر با سرعت آب عبوری متناسب است، کاربرد دیگری نیز برای دبی سنج‌ها مطرح می‌گردد. همانطور که می‌دانیم دبی با سرعت متناسب است و ضریب تبدیل تناسب به تساوی در این رابطه، سطح مقطع است. پس اگر میزان دبی را به سطح مقطع تقسیم کنیم سرعت به‌دست می‌آید و این سرعت نیز با میزان اصطکاک سیال و لاینینگ و همچنین تجهیزات نصب شده در آن مسیر متناسب است. از اینرو می‌توان از دبی‌سنج‌ها برای به‌دست آوردن سرعت بحرانی آب در مسیر استفاده کرد. چرا که با افزایش سرعت، اصطکاک سیال با مسیر و دیوارهٔ لاینینگ افزایش می‌یابد و در نتیجه نیروی وارده از سوی سیال بر دیوارهٔ لاینینگ که می‌تواند موجب تخریب آن گردد، بالا می‌رود. از طرفی سرعت سیال با فشار آب (که در واقع با سطح آب مخزن متناسب است) و نیز سطح مقطع لوله در خروجی آن (که با بازشدگی

1 - Differential Pressure Transmitter.

شیر و میزان آب عبوری از آن بستگی دارد) متناسب است و مثلاً در مواقعی که مخـزن سد کاملاً پر است و شیر تا حد ماکزیمم خود باز است، میزان سرعت، به ماکزیمم مقدار خود می‌رسد. معمولاً این مقدار از حد مجاز بالاتر است و سرعت آب نباید به این میـزان برسد. به همین دلیل سرعت سیال در داخل لاینینگ انـدازه‌گیـری و کنتـرل مـی‌شـود. از معروفترین سنسورهای اندازه‌گیری و کنترل سرعت، می‌توان به آشکارساز سرعت بالا[1] اشاره کرد و معمولترین نوع آن هم نوع پدالی[2] است.

1 - Over Speed Detector.
2 - Paddle Type.

فصل دوم

تشریح سیستم‌های
قدرت، کنترل و ابزار دقیق
یک سد مخزنی

مقدمه

در فصل قبل به توضیح در مورد بخش‌های اصلی یک سد مخزنی پرداختیم. بررسی صورت گرفته در فصل قبل بیشتر مبتنی بر آشنایی با تجهیزات مختلف اعم از برقی و مکانیکی بود. در این فصل جزییات الکتریکی و کنترلی سیستم‌های مختلف سد را مورد بررسی قرار خواهیم داد و سعی خواهیم کرد که از دید طراحی سیستم‌های برقی و کنترلی جزییات این تجهیزات را مدنظر قرار دهیم تا در فصل بعد قادر به طراحی سیستم‌های برقی و کنترلی یک سد فرضی باشیم.

۲-۱- سیستم توزیع انرژی الکتریکی

همانطور که در فصل قبل توضیح داده شد، برای مانور کردن تجهیزات مختلف از عملگرها استفاده می‌گردد و عملگرها هم به دو دستهٔ اصلی تقسیم می‌شوند که مهمترین و پر استفاده‌ترین آنها، عملگرهای برقی هستند. از طرفی عملگرهای هیدرولیکی که دسته دوم عملگرها را تشکیل می‌دهند نیز برای فراهم آوردن فشار مناسب در سیستم‌های هیدرولیک، می‌بایست از پمپ‌های برقی استفاده کنند. از اینرو انرژی الکتریکی جزو اساسی‌ترین منابع تولید نیرو می‌باشد که توسط سیستم توزیع انرژی الکتریکی بین تجهیزات مختلف توزیع می‌گردد. این سیستم انرژی الکتریکی را به دو صورت متناوب و مستقیم و در سطوح ولتاژی مختلف در اختیار تجهیزات سد قرار می‌دهد. نوع جریان و سطح ولتاژ مورد استفاده در تجهیزات مختلف، به‌نحوه کاربرد، شرایط کارکرد تجهیز و... بستگی دارد. در ادامه سعی می‌شود تا حد امکان دو سیستم توزیع انرژی الکتریکی متناوب و مستقیم، تشریح و تبیین گردند.

۲-۱-۱- سیستم توزیع انرژی الکتریکی متناوب (AC)

به‌طور معمول، بخش اعظم انرژی الکتریکی مورد نیاز تجهیزات، از سیستم سه فاز با سطح ولتاژ کم (L.V) [1] تهیه می‌شود. این انرژی معمولاً از شبکه سراسری برق توسط یک ترانس از سطح M.V [2] (تقریباً در اکثر موارد ۲۰ کیلو ولت) به سطح پایین‌تر تبدیل می‌شود و سپس توسط تاسیسات توزیع نیروی الکتریکی که در بخشهای بعدی بیشتر توضیح داده می‌شوند، در سیستم، توزیع شده و برق‌رسانی به تجهیزات انجام می‌گردد در سدهایی که نیروگاه دارند معمولاً این انرژی توسط پست موجود در کنار نیروگاه تامین می‌شود. در زمانهایی که نیروگاه از مدار خارج است و تولید ندارد، انرژی الکتریکی مورد نیاز از شبکه سراسری تامین می‌شود. البته در هنگام بی‌برقی شبکهٔ سراسری نیز باید تمهیداتی اندیشیده شود که در ادامه توضیح بیشتری ارائه می‌گردد. سیستم توزیع انرژی الکتریکی معمولاً شامل یک تابلوی توزیع اصلی (عموماً با نام MDB [3])، تابلوهای توزیع فرعی و سیستم تعویض تغذیه [4] می‌باشد.

در هنگام بی‌برقی منبع اصلی تغذیه، معمولاً از ژنراتورهای دیزلی استفاده می‌گردد. این ژنراتورها با استفاده از یک موتور دیزل یک ژنراتور را به گردش در می‌آورند و در اثر این گردش، نیروی الکتریکی مورد نیاز فراهم می‌آید. این ژنراتورها در قدرت‌های مختلفی ساخته می‌شوند که رنج ۱۰۰ کیلوولت آمپری آن در سدها بسیار مناسب و متداول است. سیستم برق اضطراری معمولاً از دیزل ژنراتور، تابلوی کنترل، سیستم تعویض تغذیه و سیستم استارت اتوماتیک ژنراتور تشکیل می‌شود. البته تابلوی اتواستارتر به‌صورت انتخابی است و در صورتی که در این سیستم موجود باشد، به هنگام قطع برق می‌توان دیزل ژنراتور را از راه دور روشن کرد. وظیفه تابلوی اتواستارتر این است که با دریافت فرمان استارت، دیزل را راه‌اندازی می‌کند و فشار

1 - Low Voltage.
2 - Medium Voltage.
3 - Main Distribution Board.
4 - Change Over System.

روغن، دور موتور و دیگر پارامترهای مکانیکی دیزل را چک و کنترل می‌کند. پس از گذشت زمان نسبتاً کوتاهی که دیزل به شرایط مناسب و با ثباتی رسید، خروجی ژنراتور به سیستم برق متصل می‌شود و می‌توان از آن بهره‌برداری کرد. برای تعویض مسیر تغذیه از یک سیستم به نام Change Over استفاده می‌گردد که در بخش‌های آتی از آن صحبت به میان خواهد آمد.

۲-۱-۲- سیستم توزیع جریان مستقیم (DC)

در بخش قبل در مورد سیستم توزیع انرژی الکتریکی متناوب مباحثی مطرح گردید اما در میان تجهیزات یک سد، دستگاه‌ها و تجهیزاتی وجود دارند که از انرژی الکتریکی DC استفاده می‌کنند. سهم تجهیزات کنترلی و مدارات فرمان در استفاده از این انرژی بیش از دیگر تجهیزات است. در اکثر سدها یک اتاق کنترل مرکزی وجود دارد که کلیهٔ سیگنال‌ها در آنجا نمایش داده می‌شوند. همچنین مدارات فرمان تجهیزات، در تابلوهای کنترل محلی آنها، معمولاً از جریان DC استفاده می‌کنند. به این ترتیب در اکثر تجهیزاتی که از سیستم DC استفاده می‌کنند و قطعی برق در آنها حیاتی است می‌بایست توسط یک سیستم توزیع DC، جریان مستقیم مورد نظر فراهم شود. در صورتی‌که سیستم توزیع DC موجود باشد، می‌توان با کنترل منبع DC در زمان قطعی برق، برق‌رسانی به کلیه تجهیزات مورد بحث را انجام داد و از وجود دائمی برق مستقیم در این مدارات مطمئن شد.

البته در میان این تجهیزات، تابلوی کنترل مرکزی، یکی از دستگاههایی است که می‌بایست همیشه در سرویس باشد و قطعی برق آن مجاز نمی‌باشد.

از اینرو همانند سیستم توزیع AC، می‌بایست یک منبع تغذیه DC برای شرایط اضطراری و بی‌برقی در نظر گرفته شود. غالباً برای این منظور از باتری و باتری شارژ استفاده می‌گردد. در این سیستم، وقتی برق اصلی وجود دارد، باتری شارژ، باتری‌ها را تحت شارژ قرار می‌دهد تا در هنگام قطع برق بتوان از آنها استفاده کرد. گاهاً یک مبدل

DC به AC[1] نیز در خروجی سیستم تغذیه DC قرار می‌گیرد تا در زمان بی‌برق بتوان مصارف Ac حیاتی را از این بخش تغذیه کرد. یکی از عمده‌ترین این مصارف، نمایشگرها و ثبات‌های سیگنال‌های آنالوگ هستند و به‌دلیل حساسیت می‌بایست دائماً و بدون وقفه روشن باشند. از دیگر منابع تغذیه اضطراری که می‌تواند به جای اینورتر استفاده گردد، منبع تغذیه بدون وقفه[2] یا UPS است.

۲-۲- سیستم تعویض تغذیه

همانطور که در بخش‌های قبلی مطرح گردید، یکی از مزایای وجود سیستم توزیع انرژی الکتریکی اینست که می‌توان از تداوم سرویس نیروی الکتریکی به تجهیزات اطمینان حاصل کرد و در شرایط خاصی مثل قطع برق، فقط با تغییر منبع تغذیه و بدون اینکه نیاز به تغییر دیگری باشد، انرژی الکتریکی را به تجهیزات رساند. تغییر منبع تغذیه در سیستم DC بسیار ساده‌تر از سیستم AC است. در جریان متناوب به‌دلیل وجود فرکانس نمی‌توان به راحتی دو منبع تغذیه را با هم موازی کرد و همانطور که می‌دانیم، مساوی بودن فرکانس‌های دو منبع، تساوی سطوح ولتاژی و عدم وجود اختلاف فاز بین آن دو منبع از شرایط اساسی و لازم جهت موازی کردن دو منبع AC با یکدیگر است. در سیستم برق سراسری وقتی ژنراتورها می‌خواهند با هم موازی شوند و به شبکه سراسری انرژی الکتریکی متصل شوند باید این شرایط فراهم شده باشد و قبل از اتصال به شبکه، با آن سنکرون شوند. در اینجا نیز همینطور است ولی چون نیازی به موازی ماندن دو منبع نمی‌باشد، از سیستمی استفاده می‌کنیم تا این دو منبع را از هم ایزوله کند و تداوم تغذیه الکتریکی را در شرایط مختلف تضمین کند. همچنین این سیستم موظف است تا در صورت برقراری مجدد تغذیه اصلی، دیزل را از مدار خارج کند. در صورتی که دیزل ژنراتور به سیستم اتواستارت مجهز باشد، می‌توان این سیستم را

1 - Inverter.
2 - Uninterruptible Power Supply.

طوری طراحی کرد تا فرمان استارت دیزل را نیز در هنگام بی‌برقی صادر کند و پس از برقراری شرایط و وصل شدن خروجی دیزل، آنرا به سیستم توزیع متصل کند.

سیستم‌های Change over معمولاً دو طرفه هستند یعنی دو باس اصلی دارند که یکی به برق شهر و دیگری به برق اضطراری (یا در واقع همان خروجی دیزل ژنراتور) متصل می‌شود. اما در بعضی سدها به‌دلیل وجود نیروگاه ممکن است سیستم تعویض سه طرفه باشد که در این صورت طرف سوم خروجی همان پستی خواهد بود که مستقیماً به نیروگاه وصل شده و برای مصارف داخلی و کارگاهی خود سد ساخته شده است (حتی ممکن است به‌جای یک پست فقط یک ترانس روی یک فیدر از پست نیروگاهی نصب شده در آنجا باشد).

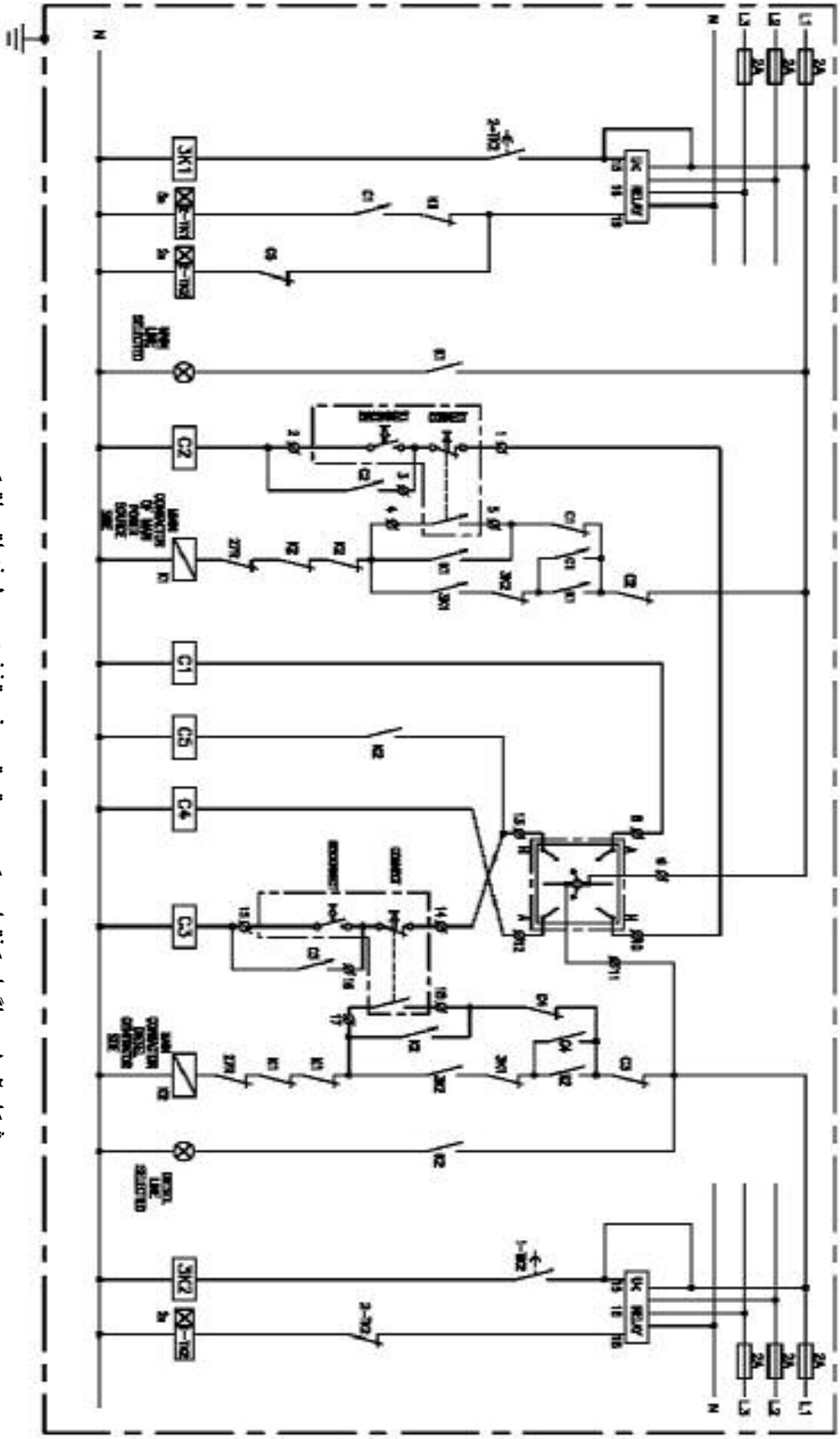
سیستم‌های تعویض تغذیه به دو صورت دستی و اتوماتیک کار می‌کنند. شکل ۲-۱ مدار کنترل یک سیستم تعویض تغذیه دو طرفه را نشان می‌دهد. سیستم Change over معمولاً در تابلوی توزیع اصلی قرار می‌گیرد.

۲-۳- سیستم‌های کنترل عملگرهای مختلف

در این بخش سیستم کنترل دو نوع عملگری را که معرفی کردیم، به‌صورت جداگانه بررسی می‌کنیم و ویژگی‌ها و خصوصیات هر کدام را مورد بحث و بررسی قرار خواهیم داد.

۲-۳-۱- سیستم کنترل محرک‌های هیدرولیکی

در فصل قبل در مورد محرک‌های هیدرولیکی توضیحاتی داده شد ولی باید بدانیم که این عملگرها بسته به اینکه وظیفه مانور چه تجهیزی را برعهده دارند، عملکرد و نحوه کنترل مختلفی دارا خواهند بود. ما سیستم‌های هیدرولیکی را مورد بررسی قرار خواهیم داد که برروی دریچه‌ها، مخصوصاً دریچه‌های تخلیه‌کننده عمقی سد نصب می‌شوند.



شکل ۲-۱- دیاگرام کنترلی یک سیستم تعویض تغذیه دو طرفه اتوماتیک

آنچنان که در فصل قبل مطرح شد، عملگرهای هیدرولیکی برای جاهایی که نیروی زیادی لازم است، بیشتر استفاده می‌شود چرا که در چنین شرایطی راندمان سیستم‌های هیدرولیکی بالاتر از سیستم‌های موتوری برقی است. در سیستم تخلیه‌کننده عمقی سد نیز به دلیل فشاری که از پشت دریچه به آن وارد می‌آید، تحت جریان آب، نیروی زیادی برای بالا و پایین بردن آن لازم است البته این تنها دلیل نیست و وزن زیاد دریچه نیز دلیل دیگر استفاده از این سیستم‌ها در تخلیه تحتانی سدهاست. عملگرهای هیدرولیکی که در این بخش استفاده می‌شوند، هم برای بالابردن و هم برای پایین آوردن دریچه از فشار پمپ‌ها استفاده می‌کنند. در واقع برای بستن دریچه وزن دریچه کافی نیست و باید با اعمال فشار مسیر آب را سد کرد و جریان آب را قطع نمود. به چنین سیستم‌هایی که در هر دو جهت نیاز به فشار هیدرولیک و کارکرد پمپ‌های سیستم هیدرولیک دارند، سیستم‌های Double Acting می‌گویند. شاید این سئوال پیش آید که، دریچه‌های اضطراری تخلیه تحتانی که در شرایط تعادل فشار عمل می‌کنند و در این شرایط نیرویی از طرف سیال به دریچه (در جهت بالا) وارد نخواهد شد پس این سیستم‌ها چرا باید برای بستن دریچه از فشار هیدرولیک کمک بگیرند؟ و اما پاسخ این سئوال درست است که دریچه‌های اضطراری تخلیه تحتانی فقط در شرایط عدم وجود جریان آب عمل می‌کنند، اما این در حا لت کارکرد عادی سیستم است. فرض کنید خطای Over speed اتفاق بیافتد. در چنین شرایطی باید مسیر به سرعت مسدود گردد و جریان آب قطع شود. فلسفه وجودی این دریچه‌ها هم همین است و در چنین شرایطی باید با وجود جریان آب کار خود را انجام دهند. بدیهی است که در چنین شرایطی، برآیند نیروی اعمالی از سوی آب (که البته به سمت بالاست) و نیروی وزن دریچه از حالت عادی کمتر خواهد بود. در اینجاست که فشار هیدرولیک به کمک نیروی وزن دریچه می‌آید و دریچه را می‌بندد اما دریچه‌های راس که درست مثل دریچه اضطراری تخلیه تحتانی باید تحت شرایط تعادل فشار باز و بسته شوند، هیچگاه در برابر جریان آب نخواهند بود. از طرفی

گاهاً وزن این دریچه‌ها بسیار زیاد خواهد شد و برای مانور آنها مجبور هستیم از سیستم‌های هیدرولیک کمک بگیریم. به‌عنوان مثال دریچه‌های رأس تونل آب بر نیروگاه[1] سد کرخه حدود ۲۰۰ تن وزن دارد ا ین تونل از رأس، بسته شود. بدیهی است برای جابجا کردن چنین جرمی باید از نیروی بزرگی کمک گرفت. در این سد، عملگر این دریچه‌ها، یک سیستم هیدرولیک است که فشار کاری آن تا حدود ۳۰۰bar می‌رسد.

گاهی سازه این دریچه‌ها آنقدر سنگین می‌شود که برای انتقالشان به سایت، آنها را قطعه‌قطعه می‌سازند و هر یک یا چندتا از این قطعات را با یک تریلرحمل می‌کنند.

طبیعتاً وقتی چنین نیرویی برای پایین بردن دریچه تا محل استقرارش وجود دارد دیگر نیازی به فشار هیدرولیک نخواهد بود. به این سیستم‌های هیدرولیک که فقط در یک جهت از فشار پمپ‌های هیدرولیک استفاده می‌کنند، سیستم‌های Single Acting گفته می‌شود.

پس به‌طور خلاصه، بسته به اینکه سیستم هیدرولیک Double Acting یا Single Acting باشد، می‌بایست در هنگام کار پمپ‌ها روشن شوند (حسب مورد) تا فشار روغن مناسب را به‌دست آوریم.

۲-۳-۲- *سیستم کنترل عملگرهای برقی شیرآلات*

عملگرهای برق شیرآلات معمولاً سه فاز هستند و در آنها یک موتور سه فاز تعبیه شده است که به‌وسیلهٔ یک گیربکس نیروی لازم برای عملکرد شیر را، با سرعت و قدرت مناسب به محور شیر منتقل می‌کند. سرعت مورد استفاده در خروجی گیربکس تقریباً در اکثر موارد، کمتر از ۱۰۰ دور در دقیقه است (رنج معمول و متداول آن ۷۲ دور در دقیقه می‌باشد).

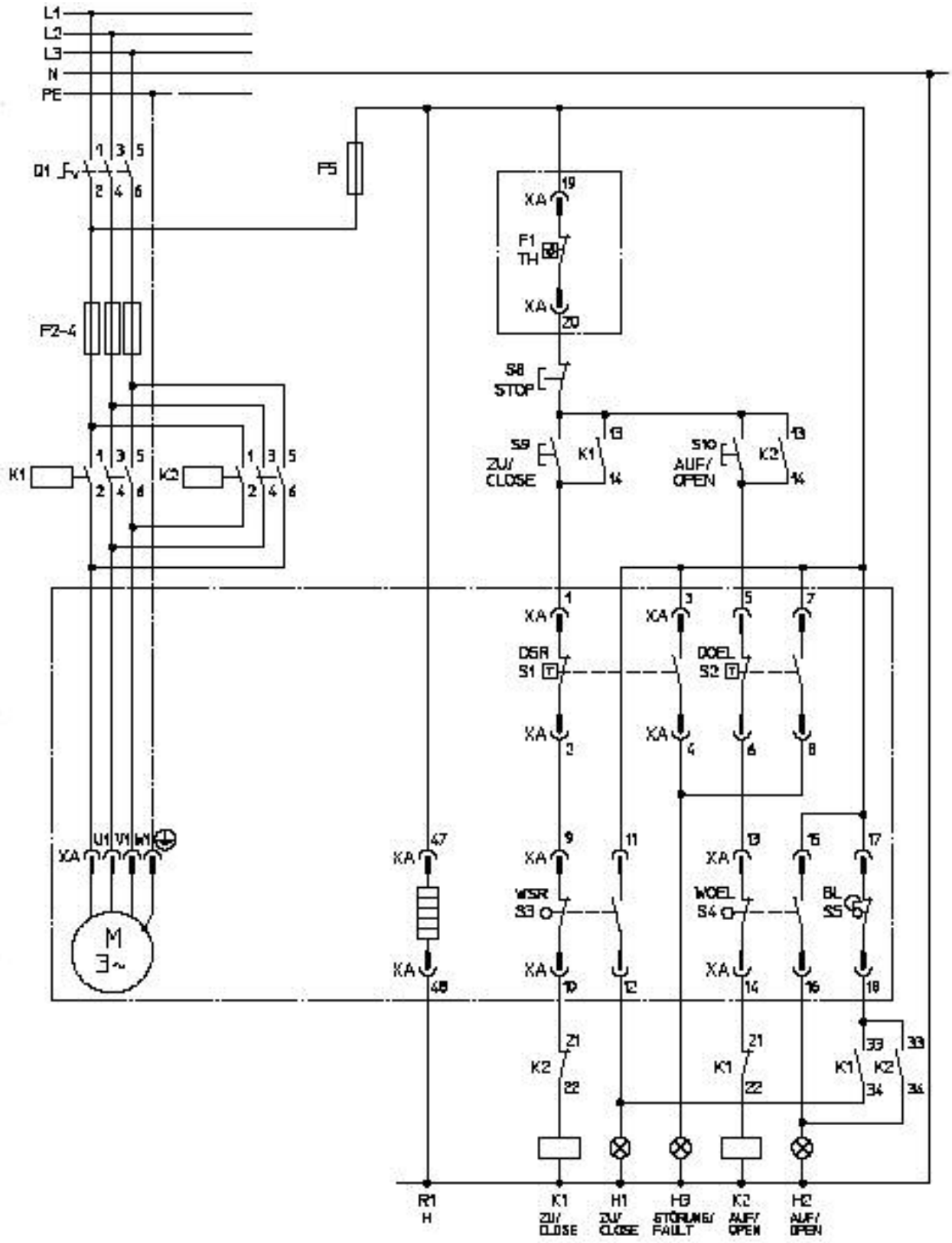
1 - Penstock.

به‌دلیل کم‌تر شدن سرعت در خروجی گیربکس، گشتاور خروجی آن نسبت به گشتاور خروجی موتور بیشتر خواهد بود یعنی دقیقاً به همان نسبتی که دور کاهش یافته است، گشتاور خروجی افزایش خواهد یافت. با این حساب، اگر شیر در حین حرکت با مانعی مواجه شود یا گیر کند، گشتاور زیادی به آن وارد می‌شود و می‌تواند آن را دچار آسیب دیدگی کند. از اینرو در عملگر آن سوئیچ‌های گشتاوری[1] طراحی و تعبیه می‌شود تا بتوانند گشتاور غیرمجاز را تشخیص دهند. پس با در نظر گرفتن این سوئیچ‌ها در طراحی مدار کنترل می‌توان حفاظت شیر را در مقابل اعمال گشتاور غیرمجاز به محور آن به انجام رسانید. همچنین در عملگرها سوئیچ‌های حدی[2] در نظرگرفته می‌شوند تا بتوان موقعیت باز یا بسته بودن شیر را به مدار کنترل آن اعلام کرد. علاوه بر تجهیزات فوق، معمولاً عملگرها دارای سوئیچ‌هایی هستند که می‌توانند وضعیت‌های مختلف کنترلی نظیر خطا، فرمان‌پذیری از راه دور، چشمک‌زن و... را اعلام کنند. معمولاً عملگرها به‌گونه‌ای ساخته می‌شوند که فرمان باز و بسته شدن شیر را بتوان از راه دور (محلی دیگر) به آن اعمال کرد. برای این کار باید یک کلید انتخابی[3] را که روی عملگر نصب شده است، در حالت Remote (راه دور) قرار دهیم تا عملگر فقط فرمان از راه دور را قبول کند و سپس به‌وسیلهٔ مدارات فرمان یا کنتاکت‌های سوئیچ‌های فشاری فرمان مناسب را به عملگر منتقل کنیم. برای روشن‌تر شدن موضوع لازمست به توضیحات زیر توجه شود. با توجه به مطالب مطرح شده، واضح است که برای فعال کردن عملگر در دو جهت باز و بسته، نیاز به یک استارتر چپ‌گرد- راستگرد داریم. معمولاً عملگرها به‌صورت اتوماتیک ساخته می‌شوند و تمامی تجهیزات کنترلی و قدرتی مورد نیاز در خود عملگر تعبیه می‌شود ولی بعضی از سازنده‌ها، به‌منظور کاهش هزینهٔ ساخت و پایین آمدن قیمت تمام شدهٔ محصولشان آن را در انواع غیراتوماتیک هم

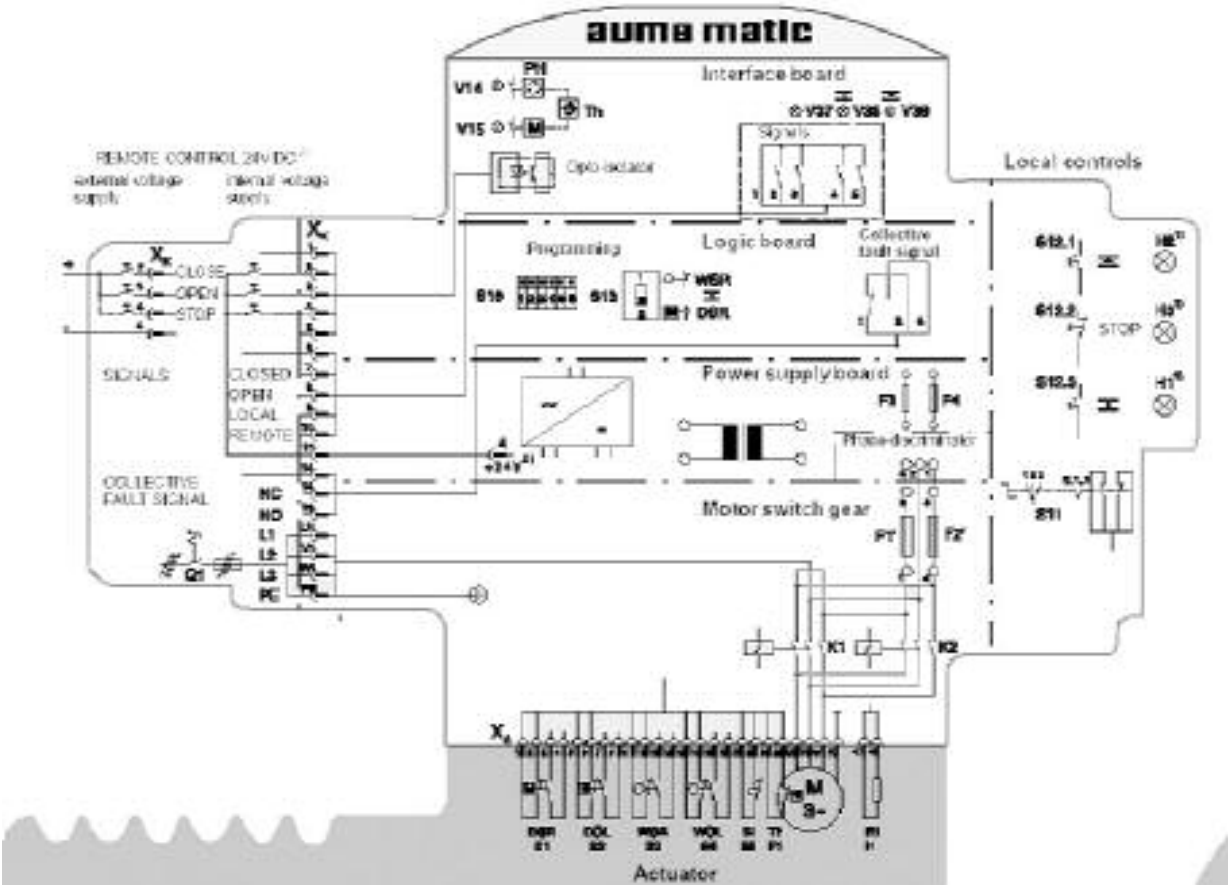
1 - Torque Switches.
2 - Limit Switch.
3 - Selector Switches.

عرضه می‌کنند. معروفترین و معتبرترین سازندگان عملگرهای برقی دنیا، در حال حاضر شرکت‌های Rotork و Auma هستند. شرکت Rotork که عملگرهای آنها کیفیت بهتری نسبت به شرکت Auma دارد، نوع غیراتوماتیک را عرضه نکرده است اما شرکت Auma عملگرهای ساخت خود را در دو نوع Norm و Matic عرضه می‌کند که اولی غیراتوماتیک و دومی اتوماتیک می‌باشد. برای کنترل مدل اول می‌بایست مدارات فرمان مربوطه و مدار قدرت چپگرد-راستگرد را در یک تابلو فراهم کرد. این عملگر سوئیچ‌های کنترلی ذکر شده در بالا را در اختیار طراح تابلو قرار می‌دهد اما هیچگونه کنترل و اینترلاکی را در خود ندارد و تماماً باید در خارج آن طراحی گردند، اما نوع Auma-Matic هیچگونه نیازی به مدار فرمان یا قدرت اضافه ندارد و فقط کافیست تا یک برق سه فاز به آن برسانیم و یا اگر از راه دور فرمان می‌پذیرد، فرمانهای مربوطه را هم به آن برسانیم بقیه کارها، و رعایت منطق عملکرد به‌عهدهٔ خود عملگر خواهد بود. در شکل ۲-۲ مدار فرمان یک تابلوی کنترل را برای یک عملگر Auma-Norm ملاحظه می‌کنید. بررسی این مدار می‌تواند منطق عملکرد نوع اتوماتیک را هم کاملاً بازگو می‌کند.

شکل ۲-۳ نیز بلوک دیاگرام یک عملگر اتوماتیک ساخت شرکت Auma را نشان می‌دهد. همچنین تصویر ذیل نمای ظاهری یک عملگر Auma را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۲- مدار فرمان و قدرت مربوط به تابلوی کنترل عملگر Amua-Norm



شکل ۲-۳- بلوک دیاگرام یک عملگر Amua-Matic

به‌منظور توضیح بیشتر می‌توان نکات زیر را نیز مورد توجه قرار داد.

از عملگرهای مورد بحث هم در شیرهای محافظ استفاده می‌شود و هم در شیرهای سرویس و همانگونه که قبلاً توضیح داده شد، شیرهای سرویس می‌توانند در موقعیت بین "**کاملاً باز**" و "**کاملاً بسته**" قرار گیرند. برای دستیابی به این حالت روی عملگرها یک کلید ایست (Stop) هم تعبیه شده است تا قادر به نگه داشتن شیر در میانهٔ راه باشیم. حال فرض کنید که سیستمی داریم که باید دبی خروجی یک مسیر را توسط شیر کنترل دبی که روی آن مسیر قرار دارد، کنترل کند. برای این کار باید با استفاده از یک دبی سنج، دائماً میزان دبی خروجی آن مسیر اندازه‌گیری شود و بسته به این میزان شیر دائماً باز یا بسته شود. کاملاً واضح است که یک کنترلر مورد نیاز است که سیگنال

خروجی دبی‌سنج را در ورودی خود بگیرد و در خروجی خود هم بتواند دو فرمان "**باز**" و "**بسته**" را صادر کند. اما سازندگان عملگرها برای چنین حالتی هم محصولی به بازار عرضه کرده‌اند که به آنها عملگرهای نوع Followmatic گفته می‌شود. این عملگرها بجای فرمان باز، بسته و ایست یک سیگنال آنالوگ استاندارد را در ورودی خود دریافت می‌کنند و میزان بازشدگی یا در واقع موقعیت خود را متناسب با آن تنظیم می‌کنند. در واقع در این عملگرها یک کنترلر PID[1] طراحی شده است که با تنظیم ضرایب انتگرالی و تناسبی آنها علاوه برکنترل میزان خطا و سرعت پاسخگویی، می‌توان موقعیت عملگر را با استفاده از یک تبدیل مناسب روی سیگنال ورودی به‌دست آورد و تنظیم کرد. در مورد سیگنال‌های استاندارد در بخش‌های بعدی صحبت به میان خواهد آمد.

۲-۴- *سیستم‌های انتقال داده و سیگنال‌های استاندارد*

مقولهٔ سیستم‌های انتقال و ارسال اطلاعات بسیار گسترده و تخصصی است و البته در بحث مربوط به این رساله هم جای خاصی ندارد و فقط در حد آشنایی به آن خواهیم پرداخت ولی در مورد سیگنال‌های استاندارد کمی بیشتر توضیح خواهیم داد.

۲-۴-۱- *سیگنال‌های استاندارد*

اصولاً در صنعت، سیگنال‌ها را به دو دسته اصلی تقسیم می‌کنند:

۲-۴-۱-۱- *سیگنال‌های آنالوگ*

سیگنال‌های آنالوگ یا قیاسی، میزان یک پارامتر را نشان می‌دهند. مثلاً فرض کنید خروجی یک دبی‌سنج بتواند مقداری متناظر با یک عدد بین صفر تا ۴ متر مکعب بر ثانیه باشد. در این‌صورت، در هر لحظه که خروجی این سنسور را بخوانیم، مقداری متناظر با میزان دبی سنجیده شده خواهد داشت. از اینرو این سیگنال را قیاسی یا آنالوگ گویند.

1 - Proportional – Integral - Differential.

در صنعت سیگنال‌های آنالوگ را به‌صورت، جریان، ولتاژ، فرکانس و... تبدیل کرده وبه دستگاه‌های مختلف منتقل می‌کنند. در این میان سیگنال‌های جریان از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند چرا که مزایای فراوانی نسبت به انواع دیگر مخصوصاً سیگنال‌های ولتاژی دارند، از این مزایا می‌توان به امکان ارسال به فواصل دورتر و نویز پذیری کمتر نسبت به سیگنال‌های ولتاژی اشاره کرده جدول زیر رنج‌های معمول و استاندارد سیگنال‌های ولتاژی و جریانی را در کنار یکدیگر و به منظور مقایسه نشان می‌دهد.

سیگنال ولتاژ (DC)	سیگنال جریان(DC)
0-1 V	0-20 mA
0.2-1 V	4-20 mA
0-5 V	0-1 A
1-5 V	0-5 A
0-10 V	

از انواع استانداردی که در جدول آمده است، سیگنال‌های 0-20mA و 4-20mA برای ارسال سیگنال‌های آنالوگ کاربرد بسیار وسیعتری دارند و در بین این دو سیگنال، سیگنال 4-20mA از کارایی بالاتری برخوردار است چرا که در صورتی که جریان ارسالی از سوی سنسور، به مقدار کمتر از ۴ میلی‌آمپر برسد می‌توان نتیجه گرفت که اشکالی در سیستم اندازه‌گیری وجود دارد. مثلاً اگر این مقدار صفر باشد، می‌توان نتیجه گرفت که یا کابل ارتباطی قطع شده است یا سنسور دچار اشکال شده است و یا اگر این مقدار بین صفر و ۴ میلی‌آمپر باشد، حتماً سنسور خراب شده است.

۲-۴-۱-۲- *سیگنال دیجیتال*

همانگونه که از نام این سیگنال مشخص است، این سیگنال دارای مقدار صفر یا یک است. یعنی یا وجود دارد و یا خیر بنابراین هر سیگنالی که در سیستم‌های کنترلی به این شکل باشد، دیجیتال محسوب می‌شود. مثلاً می‌توان فرمان روشن و خاموش شدن یک

موتور را از این نوع در نظر گرفت. سیگنال‌های دیجیتال هم به سه نوع اصلی تقسیم می‌شوند که عبارتند از:

- کنتاکت خشک[1]، که به آن سیگنال بدون ولتاژ[2] یا کنتاکت آزاد[3] هم می‌گویند.
- سیگنال ولتاژی، که در واقع یک ولتاژ است که از یک منبع ولتاژ می‌آید.
- ترانزیستوری، که در واقع شبیه همان کنتاکت خشک است و توسط یک ترانزیستور سوئیچینگ فراهم می‌شود و فرق آن با نوع اول اینست که از این کنتاکت برای جریان‌های کم و در حد چند ده میلی آمپر استفاده می‌شود.

۲-۴-۲- *سیستم‌های ارسال و انتقال اطلاعات*

ساده‌ترین و راحت‌ترین راه برای ارسال اطلاعات، استفاده از رشته سیم‌های جداگانه و ارسال سیگنال به‌صورت موازی است. اما وقتی حجم و تعداد سیگنال‌های زیاد شود و یا مشکل کابل‌کشی در مسیرهای طولانی را داشته باشیم (که در واقع هزینه‌های زیادی را به بار می‌آورند) می‌توان از سیستم‌های ارسال اطلاعات استفاده کرد. معمولترین این سیستم‌ها، سیستم ارسال اطلاعات به‌صورت سریال و پست سرهم است. در این روش می‌توان روی ۲ یا ۴ سیم اطلاعات و سیگنال‌ها را به نقاط دیگر ارسال کرد. البته برای این روش ارسال پروتکل‌های فراوانی وجود دارد که هر کدام خصوصیات ویژهٔ خود را دارا هستند ولی از آنجا که این مبحث جایگاه مهمی در این پروژه ندارد فقط جهت آشنایی به چند مورد عمده که در زیر آورده شده است اشاره می‌شود.

- پروتکل‌های سریال معمولی، شامل RS232، RS422، RS485

1 - Dry Contact.
2 - Volt Free Contact.
3 - Free Contact.

- پروتکل‌های سریال صنعتی‌تر و سریعتر، شامل پروتکل‌های مربوط به Field Bus که بیشتر مربوط به Networking سنسورها در یک Plant هستند.
- پروتکل‌های ارتباط سریال مبتنی بر PC[1]، که معتبرترین آنها Ethernet است و بسیار سریع و قابل انعطاف می‌باشد از پروژه‌های سدسازی که در ایران انجام می‌شوند، بیشتر از ارسال اطلاعات موازی یا همان کابل کشی‌های معمولی استفاده می‌شود اما اگر مجبور به استفاده از سیستم‌های سریال باشند، بیشتر RS485 و RS422 استفاده می‌شود و شاید دلیل آن اینست که مبدل‌های RS485 ارزانتر هستند و از طرفی سیستم‌های دیگری که نام برده شدند بسیار جدیدترند و هنوز جا نیافتاده‌اند.

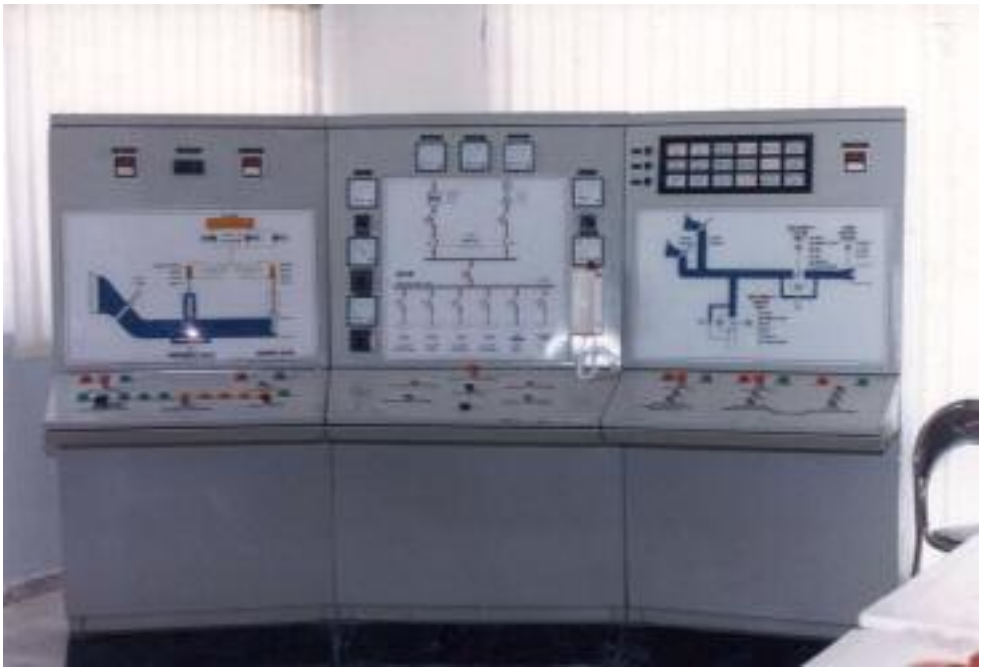
۲-۵- سیستم کنترل مرکزی

در تمامی سدها یک ساختمان بنام ساختمان کنترل در نظر گرفته می‌شود. این ساختمان معمولاً در کنار تاج سد، در محلی که بتوان هم به بالادست و هم به پایین دست مسلط بود، ساخته می‌شود. در آن ساختمان، یک تابلوی اصلی تعبیه می‌شود که کلیه سیگنال‌ها و فرامین راه دور در آن مجتمع می‌شوند. این تابلو وظیفه دارد تا تمامی سیگنال‌ها را در اختیار یک یا چند اپراتور قرار دهد و آنها بتوانند با بررسی لحظه به لحظه سیگنال‌ها، در هر لحظه آگاهی کامل نسبت به وضعیت تجهیزات سد داشته باشند، علاوه بر سیگنال‌های وضعیت کلیه آلارم‌ها و خطاهای تجهیزات که وضعیت‌های بحرانی و حیاتی را توصیف می‌کنند نیز در این اتاق موجود می‌باشند و معمولاً روی یک پنجره آلارم نمایش داده می‌شوند.

همچنین کلیه فرامین راه دور تجهیزات سد نیز، از این تابلو صادر خواهند شد به این صورت که این تجهیزات روی مود کنترلی Remote قرار می‌گیرند و در این حالت فقط از

1 - PC Based.

راه دور فرمان می‌پذیرند، این فرمان هم که از تابلوی کنترل مرکزی صادر خواهد شد پس این تجهیزات در اختیار اپراتور مستقر در اتاق کنترل مرکزی قرار می‌گیرند و همگی از یک نقطه کنترل خواهند شد. این مطلب هماهنگی در کنترل تجهیزات را تضمین می‌نماید. با توجه به توضیحات بالا، واضح و مبرهن است که اتاق کنترل مرکزی سد همیشه باید تحت نظارت و کنترل اپراتورها باشد و حضور مداوم و پیوسته آنها را می‌طلبد. از اینرو برای راحتی اپراتور وضوح بیشتر سیگنال‌ها از یک نمایش گرافیکی روی تابلوی کنترل استفاده می‌شود که به آن تابلوی Mimic می‌گویند. این نمایه معمولاً از نوارهای آلومینیومی و یا به‌صورت موزاییکی ساخته می‌شود. این دیاگرام به‌صورت خلاصه و البته کاملاً واضح تاسیسات و تجهیزات سد را نشان خواهد داد و سیگنال مربوط به هر تجهیز در روی این نمودار در کنار آن تجهیز قرار می‌گیرد تا اپراتور با یک نگاه و به سرعت متوجه شود که آن سیگنال مربوط به چه تجهیزی است و در مورد آن باید چه تصمیمی بگیرد. شکل ۲-۴ نمایی از تابلوی کنترل مرکزی سد چم گردلان در استان ایلام را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۴ نمایی از تابلوی کنترل مرکزی سد چم گردلان در استان ایلام

با پیشرفت علم کامپیوتر و الکترونیک، در حال حاضر در اکثر سدها، کامپیوترها وظیفهٔ تابلوی میمیک را برعهده گرفته‌اند. کامپیوترها با قابلیت‌های فراوانی که دارند باعث شده‌اند تا بجای Minicهای ساکن و استاتیک، نمودارهای گرافیکی و متحرک و حتی گاهاً سه بعدی، در اتاق کنترل سدها خودنمایی کنند. همچنین وجود کامپیوترهای صنعتی یا IPC[1] ها اعتماد و اطمینان خاطر بیشتری به این گونه سیستم‌ها بخشیده‌اند. کامپیوترهای صنعتی می‌توانند مدت‌های بسیار طولانی بدون خاموش شدن به کار خود مشغول باشند و حتی سال‌ها خاموش نشوند بدون اینکه مشکلی در آنها ایجاد شود. در شرایط محیطی مختلف می‌توانند به راحتی کار کنند و عوامل محیطی مثل حرارت، رطوبت و... روی آنها تاثیر قابل توجهی ندارد. قطعات و قسمت‌های مختلف آنها بسیار قابل اعتماد است و نسبت به PC های معمولی بسیار با ثبات و پایدارند مثلاً کارکرد فن CPU در یک کامپیوتر صنعتی ساخت شرکت Advantech چیزی حدود بیست هزار ساعت تضمین شده است. یا مثلاً در کامپیوترهای صنعتی معمولاً از دو منبع تغذیه استفاده می‌شود که یکی از آنها به‌صورت رزرو در نظر گرفته شده است و درست در لحظهٔ از کار افتادن منبع تغذیه اصلی، وارد مدارد شده و از قطع تغذیه جلوگیری می‌کند. از طرف دیگر جدا از انعطاف‌پذیری کامپیوترها در ارائه دیاگرام‌های گرافیکی Mimic، می‌توان به امکان ذخیره‌سازی اطلاعات در آنها اشاره کرد. در برنامه‌های مونیتورینگ که به همراه میمیک‌های کامپیوتری ارائه می‌شوند، از این قابلیت کامپیوترها به‌خوبی استفاده می‌شود و می‌توان تمامی اطلاعاتی را که همیشه به‌صورت ! از تجهیزات برداشت می‌شوند، به‌صورت کاملاً اتوماتیک برداشت کرد و آنها را برای تجزیه و تحلیل‌های آماری و... مورد بررسی قرارداد و یا حتی از طریق اینترنت یا اینترنت، این اطلاعات را به نقاط دیگر ارسال کرد که این مزایا، آنهم با این درجه از آزادی عمل، فقط در انحصار سیستم‌های مانیتورینگ و میمیک‌های کامپیوتری است.

1 - Industrial Personal Computers.

این اطلاعات می‌توانند شامل مقادیر مختلف سیگنال‌های آنالوگ (اعم از دبی مسیرهای مختلف، تراز سطح آب دریاچه و...) و یا وضعیت‌های مختلف تجهیزات (اعم از میزان بازشدگی دریچه‌ها و شیرهای سرویس، باز و بسته بودن شیرها و دریچه‌های مختلف و...) و یا حتی رخدادهای[1] مختلف که در تجهیزات روی داده‌اند (مثل بسته شدن اضطراری شیرهای محافظ، خطاهای تجهیزات و...) باشند.

1 - Events.

فصل سوم

طراحی سیستم‌های
قدرت و کنترل تجهیزات
هیدرومکانیک یک سد نمونه

مقدمه

مطابق روندی که در چکیده رساله تعریف شده است، در این فصل ضمن تعریف یک سد مخزنی فرضی ومشخص ساختن تجهیزات هیدرومکانیک منصوبه در آن، به طراحی سیستم‌های برقی و کنترلی آن می‌پردازیم. از اینرو در ادامه سعی می‌شود تا سد مفروض، تقریباً شامل انواع مختلف تجهیزات هیدرومکانیک، که در دو فصل قبل تشریح و تبیین شدند، باشد. در این فصل علاوه بر نحوه طراحی بخش‌های مختلف برقی و کنترلی، با استانداردهای مختلف طراحی این تجهیزات نیز آشنا خواهیم شد.

۳-۱- تعریف یک پروژه فرضی

به‌منظور طراحی سیستم‌های برق و کنترل یک سد مخزنی فرض می‌شود که از نوع خاکی با هسته رسی خواهد بود. فرض می‌کنیم که این سد به‌منظور ذخیره آب کشاورزی و آب شرب در نظر گرفته شده است. پس باید شامل خروجی‌های آب شرب و آب کشاورزی باشد. همچنین تجهیزات این سد شامل انواع مختلفی خواهد بود که هر کدام در بخش‌های مربوطه بیشتر تشریح خواهند شد. ابزار دقیقی هم که در این سد فرض می‌شوند، عبارت از ابزار دقیق معمول و سیستم‌های متداول در سدهای مخزنی می‌باشند. در ادامه بخش‌ها و تجهیزات مختلف مورد بررسی قرار خواهند گرفت. البته لازم به توضیح است که اطلاعات مربوط به این سد فرضی، با الگو برداری از دو سد "شهر چای" و "آیدوغموش" که در استان آذربایجان شرقی واقع شده‌اند و هنوز در دست ساختمان هستند، فرض گردیده است.

۳-۱-۱- مشخصات گالری‌ها

گالری‌ها برای دستیابی به بخش‌ها و قسمت‌های مختلف داخل بدنه سد ساخته می‌شوند. برای دسترسی به مکان‌های نصب تجهیزات، سرویس و نگهداری تجهیزات،

بازرسی و تست‌های مختلف مربوط به پارامترهای مکانیکی و... از این گالری‌ها استفاده می‌شود. البته این گالری‌ها در سدهای بتونی بیشتر وجود دارند. به‌عنوان مثال در اکثر سدهای دو قوسی بتونی، یک ابزار دقیق جهت اندازه‌گیری رانش و پیچش سد حول محور افقی خود وجود دارد. این سیستم درست مشابه یک پاندول است و می‌بایست به‌صورت دوره‌ای چک شود. بازبینی دوره‌ای این پاندول به‌صورت بصری انجام می‌شود. از اینرو جهت دستیابی به این بخش گالری‌هایی باید وجود داشته باشد. در همین رابطه می‌توان به مثال دیگری اشاره کرد. در سدهای بتونی به‌منظور تزریق بتن در بخش‌ها و بلوک‌های مختلف گالری‌هایی به‌نام گالری تزریق وجود دارد. با این حساب بعضی گالری‌ها در زمان ساخت کاربرد دارند و بعضی دیگر پس از ساخت و در زمان بهره‌برداری از سد مورد استفاده قرار می‌گیرند. البته سرکشی به تجهیزات ورودی و خروجی نیز به صورت دوره‌ای و در شرایط و زمان‌های مختلف باید انجام شود که از طریق همین گالری‌ها صورت می‌گیرد. در سد مفروض که یک سد خاکی است، تونل‌هایی برای دسترسی به اتاق قرارگیری تجهیزات سیستم تخلیه تحتانی طراحی و تعبیه شده‌اند که در این رساله با نام گالری دسترسی تخلیه تحتانی[1] خوانده می‌شود. البته چون پروژه حاضر مربوط به طراحی سیستم‌های برق و کنترل است، فقط محاسبهٔ روشنایی و در نتیجه تعیین بار مصرفی مورد نیاز این گالری برای ما مهم است و به آن خواهیم پرداخت. طول این گالری ۸۰ متر فرض گردیده سطح مقطع آن یک سطح مقطع تونلی شکل به ابعاد ۴/۵ متر در ۳ متر در نظر گرفته می‌شود. این ابعاد فرضی در محاسبات روشنایی مورد استفاده قرار خواهند گرفت.

1 - Access tunnel.

۳-۱-۲- سیستم ورودی‌ها

برای این سد مانند اکثر سدها یک اتاق برای دریچه‌های ورودی در نظر گرفته می‌شود. به این اتاق که تاسیسات ورودی سد در آن قرار گرفته است، اتاق دریچه‌های ورودی[1] گفته می‌شود. در این محل استاپ لاگ‌های ورودی سیستم‌های تخلیه تحتانی، آب شرب و آبیاری کشاورزی قرار دارند. در یک سد مخزنی خاکی با هسته رسی، معمولاً دریچه‌های ورودی در شیارهایی که روی بدنه اصلی سد و در سمت بالادست تعبیه می‌شود، قرار می‌گیرند. همیشه ورودی تخلیه تحتانی در رقوم ارتفاعی پایینتری نسبت به ورودی‌های دیگر واقع می‌شود چرا که این مجرا برای تخلیه رسوباتی است که توسط رودخانه به مخزن سد وارد می‌شود. با این تعریف مشخص می‌شود که دریچهٔ ورودی سیستم تحتانی از ورودی مجراهای دیگر جداست. البته تقریباً در همهٔ موارد ورودی سیستم‌های مختلف جداگانه و مجزا هستند. اشاره به این مطلب ضروری است که در بعضی سدها با اینکه از نوع خاکی هستند، ولی دریچه‌های رأس در یک برج که سازهٔ آن بتنی است قرار می‌گیرند. در اینگونه موارد معمولاً ریل‌های دریچه‌ها به‌صورت عمودی نصب می‌شوند و دریچه‌ها به‌جای اینکه در شیب و روی بدنه قرار گیرند، به‌صورت عمودی مانور می‌شوند. در بعضی سدها به‌جای یک دریچه ممکن است از چند دریچه در یک ورودی استفاده می‌شود. در اینگونه موارد از یک جرثقیل برای مانور دریچه‌ها استفاده می‌شود. ولی در صورتی که تعداد دریچه‌ها محدود باشد، می‌توان از وینچهای زنجیری استفاده کرد. وینچ[2] در واقع یک جرثقیل است با این تفاوت که وینچ ثابت است و در یک محل خاص نصب شده و همانجا می‌ماند و در صورتی که از محل خود جابجا شود، تا استقرار کامل در محلی دیگر مورد استفاده قرار نخواهد گرفت و معمولاً مخصوص یک تجهیز خاص است در حالیکه یک جرثقیل می‌تواند برای مانور

1 - Intake Gates Chamber.

2 – Winch.

کردن چند تجهیز بکار رود و اکثراً متحرک هستند. معمولاً این جرثقیل‌ها به‌صورت ریلی[1] هستند که پر استعمال‌ترین آنها نوع تک ریل[2] است.

در سد فرضی ما ورودی آب شرب و آبیاری کشاورزی را یکی فرض می‌کنیم و با احتساب ورودی سیستم تخلیه تحتانی، دو مجرای ورودی خواهیم داشت. با توجه به اینکه دبی مربوط به مجرای آب شرب و آبیاری کشاورزی می‌تواند مقدار زیادی باشد، به‌منظور کاهش سرعت آب در ورودی این مجرا می‌بایست سطح مقطع را افزایش دهیم و اگر سطح مقطع بزرگ باشد، دریچه‌ای که برای بستن آن مورد نیاز خواهد بود، بسیار سنگین می‌شود به همین دلیل در چنین مواردی از چند دریچه کمک گرفته می‌شود تا ظرفیت عملگر آن دریچه یا دریچه‌ها، خیلی بزرگ و غیراقتصادی نگردد.

با این حساب در این سد فرضی، دو مجرا داریم که شامل چندین دریچه در مجرای مشترک آب شرب و آبیاری کشاورزی و یک دریچه در ورودی سیستم تخلیه تحتانی خواهند بود و بهترین گزینه برای عملگر آنها، یک جرثقیل منو ریل خواهد بود. پس تاسیسات برقی این برج آبگیر، یک جرثقیل و روشنایی نصب شده در آن اتاق و اطراف آن خواهد بود.

۳-۱-۳- *خروجی آب شرب و آبیاری کشاورزی*

در سد فرضی این رساله از سد آیدوغموش که در استان آذربایجان شرقی در حال ساخت است، الگو برداری شده است. بدین ترتیب فرض شده که مجرای آب شرب وآبیاری کشاورزی، پس از ورودی به یک شیر محافظ پروانه‌ای متصل شده است و در خروجی شیر یک خط لوله آب را به اتاق شیرآلات که در نقطه‌ای پایینتر قرار دارد

1 – Rail mounted.

2– Mono Rail Crain.

می‌برد. در آنجا این خط لولهٔ به ۳ لوله با اقطار مختلف تقسیم می‌شود که در انتهای هر خط یک شیر کنترل دبی از نوع هاول‌بانگر نصب شده است. با الگو برداری از سد مذکور قطر خط لولهٔ اصلی ۲۰۰۰ میلیمتر در نظر گرفته می‌شود و شیرهای کنترل دبی نیز دارای قطرهای ۴۰۰، ۴۰۰ و ۱۲۰۰ میلیمتر خواهند بود. قبل از هر شیر کنترل دبی یک شیر پروانه‌ای باید در نظر گرفته شود. کلیهٔ شیرهای کنترل دبی با محرک برقی و شیرهای پروانه‌ای موجود در اتاق شیرخانه دستی در نظر گرفته شده‌اند. همچنین به‌منظور تامین آب شرب، یک شاخهٔ Y شکل[1] در قبل از سه شاخهٔ شیرهای مذکور قرار دارد که قطر آن ۱۶۰۰ میلیمتر فرض می‌گردد. این خط لوله به یک شیر پروانه‌ای با قطر ۱۶۰۰ میلیمتر متصل می‌شود. این شیر، برقی در نظر گرفته می‌شود. همچنین به‌منظور جابجایی اجسام سنگین در این اتاق (که همان شیرها هستند) یک جرثقیل در نظر گرفته می‌شود.

دیگر مصارف برقی که در این اتاق، از آنها می‌توان نام برد روشنایی‌های داخلی و خارجی اتاق شیرآلات و مصارف مربوط به اتاق و تابلوی کنترل مرکزی است. مصارف و بارهای روشنایی اتاق شیرآلات و همچنین اتاق کنترل مرکزی نیز با توجه به محاسبات روشنایی به‌دست خواهد آمد و در محاسبات سیستم توزیع لحاظ خواهند شد.

۳-۱-۴- *اتاق دریچه‌های تخلیه تحتانی*

همانگونه که در فصول گذشته مطرح گردید، معمولاً سیستم تخلیه تحتانی دارای دو دریچه است که توسط یک سیستم هیدرولیک مانور می‌شوند مجموعهٔ این سیستم هیدرولیک از یک مخزن (برای نگهداری روغن هیدرولیک)، دو یا تعداد بیشتری

1 – Y branch.

الکتروپمپ که البته سه فاز هستند، انواع مختلفی از شیرهای برقی[1] ، فیلترها، سنسورهای دما و سطح روغن، هیترها و... تشکیل شده است. پس، از این میان الکتروپمپ‌ها فیلترها و شیرهای برقی هستند که جزو مصارف برقی این سیستم به حساب می‌آیند. معمولاً وقتی قدرت موتور پمپ‌ها از ۷/۵ کیلووات بالاتر رود، در راه‌اندازی آنها از روش راه‌اندازی ستاره- مثلث استفاده خواهد شد. هیترها معمولاً ۱/۴۵ کیلوواتی هستند و شیرهای برقی هم توان اندکی مصرف می‌کنند و معمولاً ۲۴ ولتی DC هستند.

اما مصارف برقی اتاق دریچه‌ها به همین جا ختم نمی‌شود. معمولاً به جز این مصارف روشنایی اتاق و گالری دسترسی و یک جرثقیل که در این اتاق نصب می‌شود نیز جزو این مصارف هستند. عموماً مصارف مربوط به این اتاق در یک تابلوی توزیع محلی مجتمع می‌شود و در این تابلو یک فیدر به تابلوی کنترل – قدرت سیستم هیدرولیک تخصیص می‌یابد. در این مورد در بخش‌های آتی نیز صحبت به میان خواهد آمد.

۳-۱-۵- ابزار دقیق گوناگون

ابزار دقیق و سنسورهایی که در سدها مورد استفاده قرار می‌گیرند، معمولاً با جریان مستقیم کار می‌کنند و دارای ولتاژ ۲۴ ولت مستقیم هستند و مصرف توان آنها بسیار اندک است. از اینرو به لحاظ محاسبه در سیستم قدرت قابل اغماض هستند ولی چون در بخشهای قبلی از ابزار دقیق صحبت به میان آمد، در این مورد بررسی مختصری صورت خواهد گرفت و به‌صورت تیتروار از این ابزار دقیق نام خواهیم برد.

در فصل اول در مورد پارامترهایی که در یک سد مورد بررسی و تحت کنترل قرار می‌گیرند، مباحثی به میان آمد.

1 - Solenoid Valves.

رقوم ارتفاعی تراز آب دریاچه یکی از این آیتم‌هاست که معمولاً توسط یک سطح سنج مستغرق اندازه‌گیری می‌شود. این سنسورها از ۲۴ ولت مستقیم تغذیه می‌کنند و فشار هیدرواستاتیک آب بالای سر خود را به‌صورت یک سیگنال متناظر با این فشار (که معمولاً ۴ تا ۲۰ میلی آمپر DC است) در خروجی خود پدیدار می‌کند.

سنسور بعدی، سنسور تشخیص تعادل فشار است که مشتمل بر دو فشارسنج است که در یک دستگاه جمع‌آوری شده‌اند. این دستگاه دارای دو ورودی است که فشار سیال در هر طرف یک نیرو وارد می‌کند. برآیند این دو نیرو که متناظر با اختلاف فشار دو طرف است به‌صورت دیجیتال (معمولاً یک سوییچ) و یا آنالوگ (مقدار این اختلاف فشار) در خروجی سنسور ظاهر می‌گردد. این سنسور نیز معمولاً از ۲۴ ولت DC تغذیه می‌شود.

سنسور بعدی، سنسور تشخیص وجود آب[1] است. این سنسور نیز از ولتاژ مستقیم تغذیه می‌کند. اصول کار این دستگاه بر تقویت کننده‌های جریان مبتنی است. در این سنسور یک اختلاف ولتاژ کوچک بین دو الکترود قرار می‌گیرد به‌طوری که وقتی بین دو الکترود هوا قرار گرفته و مقاومت زیادی وجود دارد، جریانی از آن نگذرد و یا در صورت عبور، این جریان بسیار کوچک باشد. در مدار این دستگاه بعد از الکترودها یک تقویت‌کننده وجود دارد و این جریان کوچک را تقویت می‌کند تا بتوان از آن برای راه‌اندازی یک رله[2] استفاده کرد. البته این نوع، مقاومتی است و این دستگاه انواع خازنی و القایی هم دارد.

حسگر دیگری نیز وجود دارد که وظیفهٔ آن اندازه‌گیری سرعت سیال در یک لوله می‌باشد. در صورتی که اندازه سطح مقطع لولهٔ مورد نظر را داشته باشیم، از حاصلضرب این اندازه در سرعت اندازه‌گیری شده، دبی سیال در لوله به‌دست می‌آید.

1 - Water Detector.
2 - Relay.

این نوع سنسور در انواع مختلف ساخته می‌شود و تکنولوژی اندازه‌گیری سرعت در آنها متفاوت است. پرکاربردترین این تکنولوژی‌ها انواع الکترومغناطیسی، پیزوالکتریکی، اولتراسونیکی و... می‌باشند. در این بین نوع اولترا سونیکی از بقیه گرانتر و حساس‌تر است به‌طوری‌که در سطح مقطع‌های بزرگ استفاده از این نوع مقرون به صرفه می‌گردد و توجیه اقتصادی پیدا می‌کند. معمولاً در قطرهای ۲۰۰۰ میلیمتر و بزرگتر از آنها از این نوع فلومتر استفاده می‌گردد.

دستهٔ دیگر سنسورها وجود دارند که البته مستقیماً برای سیالات کاربردی ندارند و بیشتر در جامدات بکار می‌روند. اما به‌دلیل اینکه از این سنسورها در سیستم‌های هیدرولیک استفاده می‌شود، بررسی کاربرد و نحوه کارکرد آنها در این بخش، خالی از لطف نخواهد بود. به این سنسورها که برای سنجش وضعیت نسبی اجسام فلزی بکار می‌روند، سنسورهای *سوئیچ وضعیت تقریبی*[1] گفته می‌شود. این سنسورها انواع گوناگونی دارند که پرکاربردترین آنها، نوع القایی است. در این نوع، به بخش متحرک، یک قطعه فلزی متصل می‌کنند و وقتی که این قطعه در نزدیکی سنسور قرار می‌گیرد، شناسایی می‌شود. سنسور القایی که در محل مورد نظر نصب شده است، ایجاد یک میدان مغناطیسی می‌کند و با نزدیک شدن بخش فلزی به سنسور، میزان چگالی شار گذرنده از هستهٔ سیم پیچ مستقر در سنسور تغییر کرده و در نهایت تغییر جریان و در بعضی انواع دیگر تغییر راکتانس القایی و... باعث آشکارسازی وجود قطعه فلز در محل مورد نظر می‌گردد.

نوع دیگری از سنسورهای تشخیص جابجایی وجود دارند که تفاوت آنها با نوع قبلی در این است که این سنسورها قادر به اندازه‌گیری *میزان* این جابجایی هستند و خروجی آنها یک سیگنال آنالوگ است. پرکاربردترین انواع این سنسورها نوع صوتی[2] آن است

1 - Proximity Switches.
2 - Tempo Sonic.

البته انواع راداری و... هم وجود دارند که دقت بسیار بالاتری دارند ولی در طرح‌های کوچکی مثل سیستم‌های هیدرولیکی سدها توجیه اقتصادی ندارند. در نوع صوتی یک موج صوتی با ریتم یا فرکانس بالا از سنسور ساطع می‌شود و پس از برخورد به جسم روبروی خود، زمان رفت و برگشت موج دریافت شده را اندازه‌گیری می‌کند و با توجه به این تاخیر زمانی، مسافت میان سنسور و قطعه متحرک روبروی آن به‌دست می‌آید. به این سنسورها، خط کش‌های تمپوسونیکی نیز گفته می‌شود. سنسورهای سوئیچ وضعیت تقریبی که در بند قبل توضیح داده شدند برای سنجش وضعیت‌های مختلف باز، بسته و... دریچه‌های هیدرولیکی تخلیه تحتانی بکار می‌روند و از ترانسدیوسرهای تمپوسونیکی برای به‌دست آوردن میزان بازشدگی دریچه‌های سرویس سیستم تحتانی استفاده می‌شود.

۳-۱-۶- کنترل‌های مربوط به تجهیزات

در سد فرضی مورد بحث سه دستگاه شیر برقی کنترل دبی، دو دستگاه شیر پروانه‌ای محافظ که آنها هم برقی هستند، یک واحد قدرت هیدرولیک مربوط به سیستم تخلیه تحتانی، دو دستگاه جرثقیل، روشنایی‌های مختلف و... در نظر گرفته شده است. در این بند سعی برآن است که نحوه کنترل هر تجهیز را در محل‌های مختلف تشریح کنیم.

نخست شیرهای کنترل دبی:

- شیرهای کنترل دبی معمولاً علاوه بر حالت محلی، حالت کنترل از راه دور را نیز دارا هستند و اپراتور می‌تواند از محل دیگری شیر را مانور کند و میزان بازشدگی آن را تغییر دهد. پس شیرهای کنترل دبی را با دو نوع کنترل محلی/ راه دور در نظر می‌گیریم.
- شیرهای محافظ که در این طرح هر دو از نوع پروانه‌ای هستند، نیز دارای کنترل محلی/ راه دور هستند البته لازم به ذکر است که چون این شیرها محافظ هستند باید

قابلیت بسته شدن به‌صورت اضطراری را داشته باشند. واضح است که صدور فرمان از محل تجهیز و از راه دور باید کاملاً جداگانه و بدون تداخل باشند ولی فرمان بستن اضطراری که مخصوص تجهیزات محافظ است باید بتواند از هر دو محل به‌صورت همزمان صادر شود. از این مطلب در طراحی تابلوی کنترل شیر استفاده خواهد شد.

- سیستم هیدرولیک تخلیه تحتانی نیز دارای کنترل‌های محلی/راه دور است اما کنترل راه دور آن فقط شامل بستن، باز کردن و توقف دریچهٔ سرویس و البته بستن اضطراری دریچهٔ اضطراری خواهد بود و بقیهٔ فرمانها فقط به‌صورت محلی صادر خواهند شد.
- جرثقیل دریچه‌های رأس هم فقط دارای کنترل محلی است و از راه دور فرمان نخواهد پذیرفت. الگوی اصلی این بخش تقریباً مشابه سد شهر چای در ارومیه می‌باشد.

۳-۱-۷- سیستم کنترل مرکزی

همانگونه که قبلاً توضیح داده شد، تقریباً فرمان راه دور همهٔ تجهیزات از اتاق کنترل مرکزی سد صادر خواهد شد چرا که همیشه یک اپراتور در آنجا به‌صورت تمام وقت حضور خواهد داشت. از اینرو یک تابلوی کنترل مفصل و کامل که همهٔ سیگنال‌ها، فرمان‌های راه دور و آلارم‌ها را شامل می‌شود در این محل قرار می‌گیرد. تغذیه این تابلو، به دلیل وجود ترمینال‌های فراوان و نیز احتمال خطر برق گرفتگی اپراتورها و نصابها، یک تغذیه DC و در حدود ۲۴ یا ۴۸ ولت است. به‌دلیل ضرورت پیوستگی کنترل و فرمان در این تابلو یک سیستم برق اضطراری DC شامل یک سری باتری و یک دستگاه باتری شارژ و گاهاً حتی یک دستگاه اینورتر وجود خواهد داشت. شکل تابلوهای کنترل مرکزی معمولاً به‌صورت پیانویی است تا اپراتور بتواند به‌صورت

نشسته و به راحتی قادر به کنترل و بررسی وضعیت تجهیزات باشد. این تابلو شامل تعداد زیادی نشان‌دهنده برای سیگنال‌های آنالوگ، تعداد زیادی لامپ سیگنال مربوط به وضعیت‌های مختلف تجهیزات، کلیدهای فرمان عادی و اضطراری، کلیدهای سلکتوری برای انتخاب وضعیت‌های مختلف، پنجرهٔ آلارم، بوق و آژیر خطر، میمیک دیاگرام‌های مربوط به سیستم‌های مختلف و... خواهد بود. شاید ذکر این مطلب هم جالب باشد که زنگ لامپ‌های سیگنال در ایران تا اندازه‌ای استاندارد شده است و در پروژه‌های هیدرومکانیک مطابق جدول زیر خواهد بود:

ردیف	وضعیت تجهیز	رنگ لامپ	وضعیت آژیر	ملاحظات
۱	باز بودن تجهیز	سبز	خاموش	در حالت حرکت به سمت باز شدن، چشمک‌زن خواهد بود
۲	بسته بودن	آبی	خاموش	در حالت حرکت به سمت بسته شدن، چشمک‌زن خواهد بود
۳	هشدار	زرد	روشن	پیوسته روشن
۴	خطا	قرمز	روشن	پیوسته روشن
۵	نوع و حالت کنترل	سفید	خاموش	پیوسته روشن

۳-۲- طراحی سیستم روشنایی

۳-۲-۱- کلیات

در این بخش در مورد کلیات سیستم روشنایی توضیح داده می‌شود. نه تنها در یک سد بلکه در هر جایی باید با توجه به شرایط محیطی، پارامترهای تجهیزات روشنایی انتخاب گردند. در یک سد به‌دلیل وجود رطوبت می‌بایست از تجهیزاتی استفاده کرد که در مقابل نفوذ آب مقاوم باشند و همچنین جنس آنها از موادی باشد که در مقابل خوردگی و رطوبت مقاوم باشند. در پروژه‌های هیدرومکانیک می‌بایست برای فضای آزاد از پروژکتورها و حباب‌هایی استفاده شود که در مقابل بارش مقاوم باشند. در تونل‌ها و گالری‌ها از چراغ‌های تونلی استفاده می‌شود. در این مکان‌ها بجای استفاده از

کلیدهای معمولی برای روشن و خاموش کردن چراغها از کلیدهای صنعتی استفاده می‌شود. البته گاهاً از مدارهای کنتاکتوری که با کلیدهای فشاری و کنتاکتور کنترل می‌شوند استفاده می‌شود که بسیار هم مناسبترند ولی باید آن تونل یا گالری به اندازهٔ کافی بزرگ باشد تا میزان بارهای آن به اندازه‌ای باشد که تخصیص تابلوی کنترل و تجهیزات مربوطه به آنها توجیه اقتصادی پیدا کند. در اتاق‌های معمولی مثل اتاق کنترل هم، از تجهیزات معمولی استفاده می‌شود. در جاهایی که روشنایی می‌بایست متناسب با اوقات روز و شب باشد می‌توان از فتوسل کمک گرفت و کنترل روشنایی این بخشها را به‌صورت اتوماتیک درآورد.

۳-۲-۲- محاسبات روشنایی

با توجه به توضیحات مختلفی که در فصل ۳ و در مورد بخش‌های مختلف سد فرضی مورد طراحی این پروژه مطرح گردید، ابعادی برای اتاق‌های مختلف در نظر گرفته شده است که مشابه سد آیدوغموش می‌باشد. در زیر با استفاده از روش شارنوری[۱] و با توجه به ابعاد ذکر شده محاسبات روشنایی انجام شده است و در نهایت، لیست بارهای مصرفی مربوط به سیستم روشنایی تهیه شده است.

ضرایب انعکاس برای سقف، دیوارها و کف اتاقها به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

Ceiling = 15%	Wall = 25%	Floor = 10%

۳-۲-۲-۱- محاسبات روشنایی اتاق شیرآلات

الف) ورودی اتاق شیرخانه

L = 6 m
W = 4.2 m

$$K_r = \frac{L \times W}{H(L+W)} = \frac{6 \times 4.2}{10 \times (6+4.2)} = 0.25$$

۱- مهندسی روشنایی ، تالیف دکتر حسن کلهر، انتشارات گلشن.

H = 10 m
A = 24.8 m^2

با انتخاب حباب شماره ۲۴، cu = 0.52 و MF_{med} = 0.6 به دست می‌آید و با فرض E = 250 lux، تعداد لامپ‌ها به صورت زیر به دست خواهند آمد

$$\phi = \frac{EA}{cu \times MF} = \frac{250 \times 417.6}{0.535 \times 0.6} = 19872 \text{ lumen}$$

$$\phi_{250w\,mercury} = 12000 \text{ lumen}$$

$$n = \frac{19872}{12000} = 1.6 \quad \Rightarrow n = 2$$

۲ عدد لامپ بخار جیوه ۲۵۰ وات

ب) محل شیرآلات در اتاق شیرخانه

L = 23.2 m
W = 13.5 m
H = 10 m
A = 313.2 m^2

$$K_r = \frac{L \times W}{H(L+W)} = \frac{23.2 \times 13.5}{10 \times (23.2 + 13.5)} = 0.85$$

با انتخاب حباب شماره ۲۴، cu = 0.58 و MF_{med} = 0.6 به دست می‌آید و با فرض E = 250 lux، تعداد لامپ‌ها به صورت زیر به دست خواهند آمد

$$\phi = \frac{EA}{cu \times MF} = \frac{250 \times 313.2}{0.58 \times 0.6} = 225000 \text{ lumen}$$

$$\phi_{250w\,mercury} = 12000 \text{ lumen}$$

$$n = \frac{225000}{12000} = 18.75 \quad \Rightarrow n = 18$$

۱۸ عدد لامپ بخار جیوه ۲۵۰ وات

ج) اتاق کنترل سد

L = 12 m
W = 3.35 m
H = 3 m
A = 40.2 m^2

$$K_r = \frac{L \times W}{H(L+W)} = \frac{12 \times 3.35}{3 \times (12 + 3.35)} = 0.87$$

با انتخاب حباب شماره ۲، $cu = 0.28$ و $MF_{med} = 0.75$ به دست می‌آید و با فرض $E = 300$ lux، تعداد لامپ‌ها به صورت زیر به دست خواهند آمد

$$\phi = \frac{EA}{cu \times MF} = \frac{300 \times 40.2}{0.28 \times 0.75} = 57430 \text{ lumen}$$

$$\phi_{3\times40w} = 6900 \text{ lumen}$$

$$n = \frac{57430}{6900} = 8.3 \Rightarrow n = 8$$

۸ عدد حباب شماره ۲ با لامپهای فلورسنت ۴۰ وات

۳-۲-۲-۲- محاسبات روشنایی اتاق تخلیه تحتانی

$L = 11.4m$
$W = 4.4m$
$H = 5.5$ m
$A = 50.2m^2$

$$K_r = \frac{L \times W}{H(L+W)} = \frac{11.4 \times 4.4}{5.5 \times (11.4 + 4.4)} = 0.32$$

با انتخاب حباب شماره ۲۴، $cu = 0.52$ و $MF_{med} = 0.6$ به دست می‌آید و با فرض $E = 250$ lux، تعداد لامپ‌ها به صورت زیر به دست خواهند آمد

$$\phi = \frac{EA}{cu \times MF} = \frac{250 \times 11.4 \times 4.4}{0.52 \times 0.6} = 40192 \text{ lumen}$$

$$\phi_{160w_{mercury}} = 7500 \Rightarrow n = 5.35 \Rightarrow n = 6$$

۶ عدد لامپ بخار جیوه ۱۶۰ وات

۳-۲-۲-۳- محاسبات روشنایی اتاق دریچه‌های راس

$L = 22.5$ m
$W = 12.5$ m

$$K_r = \frac{L \times W}{H(L+W)} = \frac{22.5 \times 12.5}{10 \times (22.5 + 12.5)} = 0.8$$

$H = 10\ m$

با انتخاب حباب شماره ۲۴، $cu = 0.58$ و $MF_{med} = 0.6$ به دست می‌آید و با فرض $E = 250\ lux$، تعداد لامپ‌ها به صورت زیر به دست خواهند آمد

$A = 281.25\ m^2$

$$\phi = \frac{E\,A}{cu \times MF} = \frac{250 \times 281.25}{0.58 \times 0.6} = 202047\ \text{lumen}$$

$$\phi_{250w_{mercury}} = 12000\ \text{lumen}$$

$$n = 16.8 \Rightarrow n = 18$$

۱۸ عدد لامپ بخار جیوه ۲۵۰ وات

جدول ۳-۱- لیست بارهای مصرفی مربوط به سیستم روشنایی

ردیف	محل	توان هر لامپ	تعداد لامپ‌ها	توان کل
۱	ورودی شیرخانه	۲۵۰ وات	۲ عدد	۵۰۰ وات
۲	محل شیرآلات در شیرخانه	۲۵۰ وات	۱۸ عدد	۴۵۰۰ وات
۳	اتاق کنترل سد	۴۰ وات	۸ حباب ۲ تایی	۶۴۰ وات
۴	اتاق تخلیه تحتانی	۲۵۰ وات	۶ عدد	۱۵۰۰ وات
۵	اتاق دریچه‌های راس	۲۵۰ وات	۱۸ عدد	۴۵۰۰ وات

در بخش بعدی که در مورد طراحی سیستم قدرت است، از این مقادیر در قسمت‌های مختلف استفاده شده است.

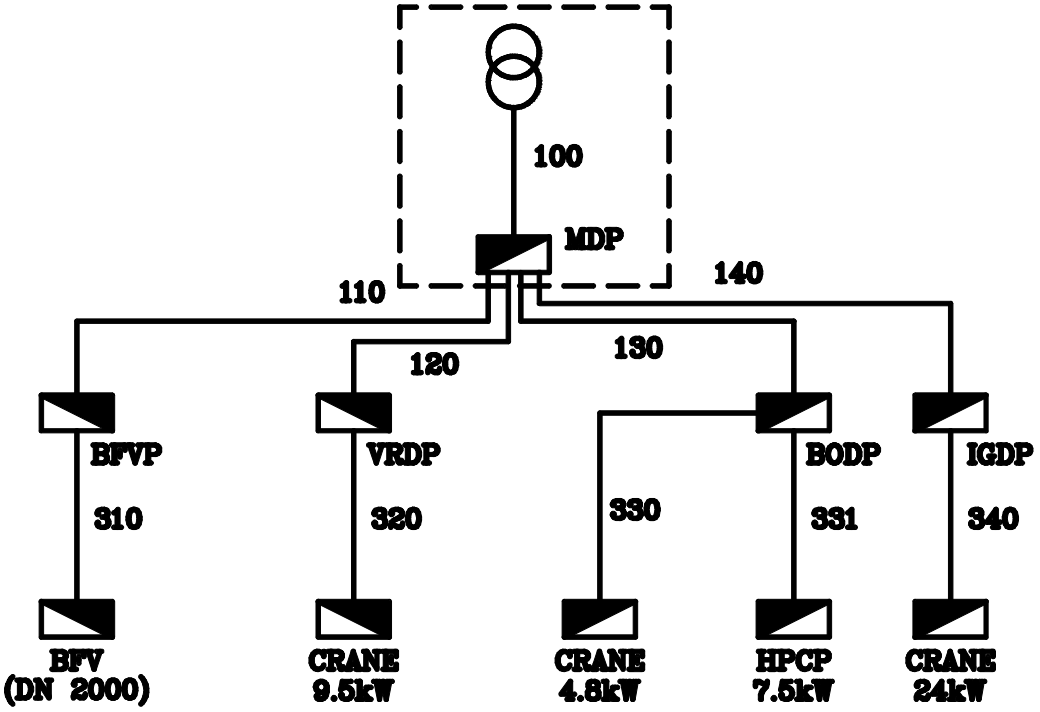
۳-۳- طراحی سیستم قدرت

۳-۳-۱- کلیات

در این بخش که به‌طور کامل با رشته تحصیلی اینجانب مرتبط است، به طراحی سیستم‌های توزیع قدرت و انرژی الکتریکی می‌پردازیم. در این بخش علاوه بر طراحی سیستم توزیع قدرت، سیستم زمین حفاظتی و الکتریکی هم مورد محاسبه و طراحی قرار خواهد گرفت و تا حد امکان در مورد چگونگی انجام کابل کشی‌ها، اجرای سیستم زمین، استانداردهای رایج در طراحی سدهای ایران، تعیین ظرفیت دیزل ژنراتور مورد نیاز و متناسب با فرضیات مطرح شده و... بحث و بررسی خواهد شد. پس نخست با طراحی سیستم توزیع شروع خواهیم کرد. به خلاف بخش قبل که ابتدا محاسبات روشنایی انجام شد تا لیست بارهای مصرفی بخش روشنایی به‌دست آید، در این بخش لیست بارهای مصرفی سیستم توزیع و تجهیزات مشخص است و با مشخص بودن این لیست قادر به انجام محاسبات خواهیم بود. در طراحی سیستم قدرت دو بخش مهم وجود دارد که هر دو باید محاسبه شوند. ابتدا محاسبات مربوط به افت ولتاژ را با توجه به افت ولتاژهای مجاز انجام می‌دهیم تا بتوانیم کمینهٔ سطح مقطع سیم‌ها و کابل‌های انتقال انرژی را به‌دست آوریم. در صورت استفاده از سطح مقطع‌های به‌دست آمده، میزان افت ولتاژ، مقداری کمتر یا حداکثر برابر افت ولتاژ مجاز در نظر گرفته شده، به‌دست خواهد آمد. بخش بعدی محاسبات اتصال کوتاه خواهد بود که انجام این محاسبات منجر به تعیین سطح مقطع سیم‌های زمین می‌گردد.

اما قبل از ورود به محاسبات می‌بایست لیست بارها و تجهیزات را در نظر بگیریم و برای برق‌رسانی به هر تجهیز یک کابل در نظر بگیریم. برای تمایز این کابل‌ها از یکدیگر می‌توان برای هر کدام شماره‌ای در نظر گرفت. پس از این کار با تهیهٔ یک جانمایی از کل سیستم توزیع لیست بارها و تجهیزات کاملتر شده و وضوح بیشتری پیدا خواهد کرد. در مورد این پروژه، فواصل مختلفی در نظر گرفته شده است. که در بخش محاسبات

افت ولتاژ، اندازه مربوط به هر کابل مشخص شده است. شکل ۳-۱ یک جانمایی کلی از سیستم توزیع قدرت پروژهٔ فرضی حاضر است. جدول ۳-۲ نیز لیست بارهای سیستم تغذیه را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱- جانمایی کلی سیستم توزیع قدرت پروژهٔ فرضی حاضر

جدول ۳-۲- لیست بارهای مصرفی سیستم قدرت

ردیف	تغذیه کننده	مصرف کننده	توان مصرفی	ضریب قدرت
۱	ترانسفورماتور اصلی	تابلوی MDP	۲۱۴ کیلوولت‌آمپر	۰/۹
۲	تابلوی MDP	تابلوی BFVP	۱۰/۲ کیلوولت‌آمپر	۰/۹۸
۳	تابلوی MDP	تابلوی VRDP	۴۵/۳ کیلوولت‌آمپر	۰/۸۷
۴	تابلوی MDP	تابلوی BODP	۴۵/۳ کیلوولت‌آمپر	۰/۸۴
۵	تابلوی MDP	تابلوی IGDP	۷۳/۱ کیلوولت‌آمپر	۰/۸۴

ملاحظه می‌شود که لیست بارها به‌صورت کلی بوده و بارهای مربوط به هر بخش را به‌صورت مجموع بیان کرده است. در بخش مربوط به محاسبات افت ولتاژ که در قسمتهای بعدی ارائه شده است، قبل از محاسبه هر کابل، بارهای مصرفی آن کابل، به‌صورت مجزا و تک تک لیست گردیده است.

۳-۳-۲- *چگونگی انجام محاسبات افت ولتاژ*

در ابتدا خلاصه‌ای از چگونگی و روش انجام این محاسبات به شرح زیر آورده می‌شود:

۳-۳-۲-۱- تعیین مقاطع سیم‌ها و کابل‌ها براساس جریان مجاز (سیستم‌های سه فازه)

سطح مقطع یک هادی باید با توجه به دو مورد زیر انتخاب و محاسبه شود.

- با توجه به شدت جریان مصرفی مورد نیاز مصرف کننده، هادی باید طوری انتخاب شود که جریان مورد نیاز مصرف‌کننده قادر به عبور از آن باشد.
- با توجه به ولتاژ، مورد نیاز مصرف‌کننده‌ای مشخص، هادی باید طوری انتخاب شود که مقدار افت ولتاژ در طول خط توزیع انرژی حتی نسبت به آخرین مصرف‌کنندهٔ خط (که دورترین مصرف‌کننده به پست می‌باشد) از مقدار معینی تجاوز ننماید.

۳-۳-۲-۱-۱- *انتخاب هادی‌ها از نظر شدت جریان مجاز*

مقاطع سیم‌های عایق‌دار و کابل‌ها براساس جریان مجاز و حداکثر افت ولتاژ مجاز تعیین می‌شود. اصولاً سیم‌های عایق دار را بسته به وضعیت نصب آنها به سه گروه تقسیم بندی می‌کنند.

- گروه ۱: سیم‌های داخل لوله (به تعداد ۱ تا ۳ سیم)

- گروه ۲: سیم‌های دو لا یا سه لا، که آزادانه در هوا کشیده شده‌اند ولی برای تغذیه مصرف‌کننده‌های قابل حمل و نقل بکار می‌روند
- گروه ۳: تعدادی سیم‌های تک لا که آزادانه در هوا کشیده شده‌اند و فاصلهٔ آنها از یکدیگر برابر قطر سیم است.

در جدول ۳-۳ جریان مجاز سیم‌های استاندارد مسی با عایق PVC برای حداکثر حرارت مجاز ۷۰ درجه سانتیگراد و درجه حرارت محیط ۲۵ درجه سانتیگراد آورده شده است.

درصورتی‌که درجه حرات محیط اطراف سیم ۲۵ درجه نباشد جریان‌های مجاز داده شده در جدول فوق را با ضرایبی که در جدول ۳-۴ آورده شده است، تصحیح می‌کنیم.

جدول ۳-۳- جریان مجاز سیم‌های عایق‌دار

سطح مقطع سیم میلیمترمربع	جریان مجاز گروه ۱ (تا سه سیم در لوله)	جریان مجاز گروه ۲ (سیم چند لا در هوا)	جریان مجاز گروه ۳ (چند سیم یک لا در هوا)
۰/۷۵	—	۱۳	۱۶
۱	۱۲	۱۶	۲۰
۱/۵	۱۶	۲۰	۲۵
۲/۵	۲۱	۲۷	۳۴
۴	۲۷	۳۶	۴۵
۶	۳۵	۴۷	۵۷
۱۰	۴۸	۶۵	۷۸
۱۶	۶۵	۸۷	۱۰۴
۲۵	۸۸	۱۱۵	۱۳۷
۳۵	۱۱۰	۳۵۵	۱۶۸
۵۰	۱۴۰	۱۴۳	۲۱۰
۷۰	۱۷۵	۱۷۸	۲۶۰
۹۵	۲۱۰	۲۲۰	۳۱۰
۱۲۰	۲۵۰	۲۶۵	۳۶۵

ادامه جدول ۳-۳- جریان مجاز سیم‌های عایق‌دار

۱۵۰	—	۳۱۰	۴۱۵
۱۸۵	—	۴۰۵	۴۷۵
۲۴۰	—	۴۸۰	۵۶۰
۳۰۰	—	۵۵۵	۶۴۵
۴۰۰	—	—	۷۷۰
۵۰۰	—	—	۸۸۰

جدول ۳-۴- ضرایب تصحیح جریان مجاز

درجه حرات فضا	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰
ضریب تصحیح	۱/۲	۱/۱۵	۱/۱۰	۱/۰۵	۱	۰/۹۴	۰/۸۸	۰/۸۲	۰/۷۵	۰/۶۷

۳-۳-۲-۱-۲- انتخاب هادی‌ها از نظر افت ولتاژ الکتریکی

عموماً وسایل الکتریکی برای ولتاژ معینی ساخته شده‌اند و اگر تغییرات ولتاژ دو سرمصرف کننده الکتریکی از یک تلورانس معین تجاوز نماید، نقطه کار آن بهم خواهد خورد. بیشتر بارهای صنعتی را موتورهای القایی سه فاز باروتور قفسی تشکیل می‌دهند. جریان خط یک موتور سه فاز در حالت کار در ظرفیت نامی آن مطابق رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$I=\frac{P}{\sqrt{۳}V\eta Cos\varphi}$$

در فرمول فوق P توان اسمی برحسب وات، V ولتاژ خط برحسب ولت، η راندمان موتور و Cosφ ضریب توان موتور می‌باشد. راندمان بستگی به ظرفیت موتور و سرعت آن دارد ضرایب توان موتور نیز تابع قدرت و سرعت موتور است. راندمان و ضریب توان را برای محاسبه می‌توان با توجه به جدول ۳-۵ تعیین کرد.

جدول ۳-۵ - راندمان و ضریب قدرت موتورهای القایی سه فاز با رتور قفسی

خروجی موتور کیلووات	موتور ۲قطبی ۳۰۰۰ دور در دقیقه		موتور ۴قطبی ۱۵۰۰ دور در دقیقه		موتور ۶ قطبی ۱۰۰۰ دور در دقیقه	
	η	Cosφ	η	Cosφ	η	Cosφ
۰/۵	۰/۷۰	۰/۷۳	۰/۶۹	۰/۶۷	۰/۶۸	۰/۶۳
۱	۰/۷۲	۰/۷۵	۰/۷۱	۰/۶۹	۰/۷۰	۰/۶۶
۵	۰/۸۴	۰/۸۶	۰/۸۳	۰/۷۴	۰/۸۱	۰/۶۹
۱۰	۰/۸۶	۰/۸۷	۰/۸۴	۰/۷۸	۰/۸۲	۰/۷۱
۲۰	۰/۸۸	۰/۸۹	۰/۸۵	۰/۸۳	۰/۸۳	۰/۷۵
۵۰	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۸۹	۰/۸۵	۰/۸۷	۰/۸۲
۱۰۰	۰/۹۱	۰/۹۲	۰/۹۰	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۸۴
۱۰۰۰	۰/۹۳	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۹۲	۰/۹۱

رابطهٔ قبل جریان نامی موتور در حالت کار را به‌دست می‌دهد ولی می‌دانیم موتورها در لحظهٔ استارت ۵ تا ۷ برابر جریان نامی خود را از شبکه می‌کشند. جریان شروع برای مدت‌کوتاهی است و باعث گرم شدن کابل نمی‌شود بنابراین در محاسبه مقطع انشعاب‌ها در نظر گرفته نمی‌شود. همچنین باید توجه داشت در برخی استانداردها مثل استانداردهای آمریکایی یک ضریب اطمینان معادل ۱/۲۵ را در جریان نامی موتور ضرب می‌کنند و این بدان دلیل است که موتور ممکن است برای مدت‌های محدودی Over Load کار کند.

در مراکز صنعتی، یک انشعاب اصلی تعداد زیادی بار موتوری را تغذیه می‌کند که عمدتاً به‌طور همزمان با هم در حال کار نخواهند بود. برای این که طراحی بهینه شود و محاسبات سطح مقطع، مقطع بزرگی را به دست ندهد، یک ضریب همزمانی درنظر می‌گیریم که آن‌را می‌توان از جدول ۳-۶ استخراج نمود.

جدول ۳-۶- ضریب مصرف همزمان تعدادی موتور

تعداد موتورها	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۱۰
ضریب مصرف همزمان	۱	۱	۰/۹۰	۰/۸۰	۰/۷۰	۰/۶۰	۰/۵۵	۰/۵۰	۰/۴۴

۳-۳-۲-۲- روش کلی محاسبات و تعیین سطح مقطع کابل‌ها و سیم‌ها در مدارات سه فاز

برای انجام این محاسبات باید به شکل زیر عمل کرد.

۱- **قدم اول**: تهیه Layont اصلی از شبکه توزیع (شعاعی) مورد نظر

۲- **قدم دوم**: برای محاسبات، ضریب اطمینان، ضریب حرارتی، ضریب نصب، درجه حرارت محیط، ضریب جریان راه‌اندازی برای بارهای موتوری، درصد افت ولتاژ مجاز برای حالت (کار معمولی و راه‌اندازی) و همچنین ضریب هدایت هادی مربوطه را مشخص می‌کنیم.

۳- **قدم سوم**: از انتهای شبکه به سمت نقطه انشعاب اصلی، به‌ترتیب سطح مقطع هر کابل یا سیم تغذیه را محاسبه می‌کنیم.

قدم اول: برای شروع باید یک شمای کلی از مصرف‌کننده‌ها و تابلوهای توزیع را در نظر بگیریم پس از این کار برای هر کابل، یک شماره در نظر می‌گیریم تا در محاسبات بتوانیم به آن اشاره کنیم. (به‌عنوان مثال، کابل‌های قدرت را از نقطهٔ انشعاب اصلی به‌سمت انتهای شبکه با کابل‌های ۱۰۰ و۱۰۱ و... نشان می‌دهیم).

همچنین می‌توانیم روی این شمای کلی، علاوه بر شماره کابل‌ها اطلاعات دیگر از قبیل فاصله‌ها و درصد افت ولتاژ مجاز را نشان دهیم. در نتیجه این layout به شکلی درمی‌آید که با یک نگاه به آن تقریباً تمام اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه سطح مقطع کابلها به شکلی روشن و واضح بدست می‌آید.

قدم دوم: برای محاسبه سطح مقطعهای کابلها، باید از انتهای شبکه به سمت ابتدای آن، حرکت کرده و مطابق فرمول‌های ذیل مساحت مقطع کابل‌ها را محاسبه کنیم. برای این کار جریان نامی را در هر بخش محاسبه نموده و از روی آن سطح مقطع را بدست می‌آوریم. برای این منظور ابتدا باید بارهای هر فیدر را در تابلوی توزیع مربوطه بدست آوریم. پس اگر مشخصات بار معلوم بود آنها را در طراحی اعمال می‌کنیم در غیر این صورت با توجه به نوع بار مطابق زیر عمل می‌کنیم:

- **بارهای روشنایی**: در بارهای روشنایی، توانهای قید شده، توان ورودی بوده و جریان این‌گونه مدارها از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$I = \frac{P}{U \times \cos\varphi}$$

در رابطه فوق، P توان وردی بار متصل به مدار و برحسب وات، U ولتاژ مدار و بر حسب ولت و cos φ ضریب توان مدار می‌باشد. در مورد چراغهای رشته‌دار، ضریب توان برابر ۱ و در مورد لامپهای فلورسنت مجهز به خازن اصلاح ضریب قدرت، ضریب توان در حدود ۰/۹۵ و در مورد لامپهای فلورسنت غیر مجهز به خازن، ضریب قدرت، ۰/۵ تا ۰/۶ در نظر گرفته می‌شود.

باید توجه داشت که کلیه فیدرهای روشنایی در یک تابلو باهم روشن نخواهند شد و برای کل جریا ن مصرفی آنها یک ضریب همزمانی (که آنرا با K_d نشان می‌دهیم) در نظر می‌گیریم پس فرمول کلی به شکل زیر بدست می‌آید

$$I = K_d \frac{P}{U \times \cos\varphi}$$

ضریب همزمانی مصرف برای بارهای مختلف را مطابق جدول۳-۷ در نظر می‌گیریم.

جدول ۳-۷- ضریب مصرف بارهای روشنایی

نوع بار روشنایی	ضریب مصرف
مدار روشنایی خانگی	۱/۰
مدار روشنایی مراکز صنعتی مرکب از قسمت‌های بزرگ مجاور هم	۰/۹۵
مدار روشنایی مراکز صنعتی مرکب از قسمت‌های بزرگ	۰/۸۵
مدار روشنایی انبارهای بزرگ	۰/۳۵
مدار روشنایی مراکز تجاری	۰/۹۵
مدار مخلوط روشنایی و وسایل خانگی	۰/۸۰

باید توجه داشت که مطابق استانداردهای بسیاری از کشورها، نباید بار مربوط به بیش از ۱۰۰ متر مربع را روی یک فیدر روشنایی قرار داد.

- **بارهای موتوری**: این بارها به دودسته سه‌فاز و تکفاز تقسیم می شوند که روش محاسبه «جریان تمام بار» یا FLC برای هرنوع، با دیگری متفاوت است:

الف) ***موتورهای کوچک تک فاز***

در این موتورها راندمان را ۰/۵ تا ۰/۶ و ضریب قدرت را ۰/۶ تا ۰/۷ درنظر می‌گیریم. تنها یک نوع از این موتورها که دارای راه انداز خازنی است، ضریب توان به ۰/۹ افزایش می‌یابد.

«جریان تمام بار» آنها را باید با توجه به رابطه زیر به‌دست آورد.

$$I = \frac{P}{220 \times \cos\varphi \times \eta}$$

ب) موتورهای سه فازه

همانطور که قبلاً هم اشاره شد. برای این موتورها مطابق جدول ۳-۵ و براساس دور نامی موتور و توان خروجی آن، باید ضریب توان و راندمان را به‌دست آورده و در فرمول زیر مورد استفاده قرار داد.

$$I = \frac{P}{\sqrt{۳}U \times \eta \cos\varphi}$$

همانطور که اشاره شد، (در برخی استانداردها) به‌عنوان ضریب اطمینان عـدد ۱/۲۵ را در «جریان تمام بار» به‌دست آمده ضرب می‌کنند و حاصل را به‌عنوان «جریـان تمـام بار» در نظر می‌گیرند. سپس با توجه به جدول ۳-۶، برای موتورها یک ضریب همزمـانی درنظر می‌گیرند. باید توجه داشت که موتورهای سه فاز به‌هنگام راه‌اندازی ۵ تا ۷ برابـر جریان نامی خود را از شبکه می‌کشند.

پس از محاسبه جریان‌ها، جریانی معادل مجموع جریان‌های گذرنـده از هـر کابـل را در نظر می‌گیریم (که البته ضریب همزمانی هم در آنها لحاظ شده است) و سطح مقطع را به ۳ صورت زیر محاسبه می‌کنیم.

الف) سطح مقطع حرارتی: با توجه به جریان گذرنده از کابل، سطح مقطع حرارتی آن کابل را با اعمال ضریب تصحیح (که آن‌را از جدول ارائـه شـده در قسـمت‌هـای قبـل استخراج کرده‌ایم) به‌دست می‌آوریم.

ب) سطح مقطع افت ولتاژ: با توجه به درصد افت ولتاژ مجاز براساس جدول ۳-۷، از فرمول زیر سطح مقطع افت ولتاژ به‌دست می‌آید:

$$S_{VD} = \frac{۱۰۰\sqrt{۳} \times I_t \times L \times \cos\varphi}{x \times U_L \times \Delta u\%}$$

در فرمول فوق I_t مجموع جریان‌های گذرنده از کابل (برحسب آمپـر)، L طـول کابـل (برحسب متر)، $\cos\varphi$ ضریب توان مربوط به جریان کل، U_L ولتاژ خط (برحسب ولـت) و $\Delta u\%$ افت ولتاژ مجاز می‌باشد. همچنین χ ضریب هدایت الکتریکی مربـوط بـه هـادی کابل می‌باشد که برای آلومینیوم ۳۵ و برای مس ۵۶ در نظر گرفته می‌شود.

ج) سطح مقطع افت ولتاژ، در حالت استارت: ایـن قسـمت بـرای موتورهـا مـورد استفاده دارد و برای بارهای دیگر کاربردی ندارد. افت ولتاژ مجاز برای موتورها با توجه به مباحث زیر تعریف و درنظر گرفته می‌شود:

معمولاً افت ولتاژ از منبع تولید، تا مصرف‌کننده حداکثر ۵٪ و در حالت استارت (درصورتی که منبع موتوری باشد) ۱۰٪ درنظر گرفته می‌شود که از این مقدار ۲٪ تا تابلوی توزیع اصلی و ۳٪ تا مصرف‌کننده درنظر گرفته می‌شود که در هنگام استارت برای مصارف موتوری این مقادیر به ۲٪ و ۸٪ تغییر می‌یابند. البته طراح در توزیع این افت ولتاژ مختار است و بهترین کار اینست که بیشترین افت ولتاژ در طولانی‌ترین مسیر توزیع گردد. فرمول محاسبه سطح مقطع افت ولتاژ استارت به شکل زیر است:

$$S_{VDSt} = \frac{۱۰۰\sqrt{۳} \times I_{st} \times L \times \cos\varphi}{\chi \times U_L \times \Delta u_{st}\%}$$

در پایان هر کدام از سطح مقاطع که بزرگتر بود را به‌صورت یک سطح مقطع نُرم شده انتخاب کرده و استفاده می‌کنیم.

پس از انجام محاسبات و به‌دست آوردن سطح مقطع‌های همه کابل‌ها یک مسئلهٔ دیگر نیز باید مورد توجه قرار گیرد و آن، سطح مقطع افت ولتاژ حالت راه‌اندازی کابل ورودی اصلی (از ترانس به تابلوی توزیع اصلی) با درنظر گرفتن جریان راه‌اندازی بزرگترین مصرف‌کننده موتوری به همراه بقیه مصارف عادی است که نباید بزرگتر از سطح مقطع کابل به‌دست آمده برای این فاصله باشد.

باید توجه داشت که مقدار جریانی که در حالت فوق باید در نظر بگیریم کاملاً، به طبیعت شبکه مورد طراحی بستگی دارد و مستقیماً نظر طراح در این مورد موثر و قابل اجراست. این مورد کاملاً تجربی بوده و در هیچ استانداردی ذکر نشده است.

اما از آنجا که این پروژه در رابطه با سدها می‌باشد، این مسئله را برای توضیح بیشتر به شکل ذیل تشریح می‌نمایم. فرض کنید از بالادست رودخانه‌ای که روی آن سد را بنا کرده‌ایم، سیلابی به سمت سد مورد نظر در حرکت است. در این حالت تمام تجهیزاتی که مربوط به خروجی سد باشند (مخصوصاً دریچه‌های سرریز) باید کار کنند همچنین فرض می‌کنیم این اتفاق در شب بیافتد بنابراین باید تمام روشنایی‌ها هم قابلیت

راه‌اندازی داشته باشند پس می‌توانیم بیشترین جریان را برای همین وضعیت در نظر بگیریم. پس با این حساب بیشترین جریان عبارتست از: (۱۰۰٪ روشنایی‌ها+ مصرف تجهیزات حیاتی مورد نیاز برای مقابله با سیلاب)

۳-۳-۳- محاسبات افت ولتاژ

ابتدا به عنوان مهمترین پیش‌نیاز انجام طراحی باید میزان افت ولتاژ مجاز را تعیین کنیم. همانطور که گفته شد، مطابق استانداردها و مراجع مختلف، طراح مجاز است حداکثر ۵٪ افت ولتاژ در حالت کارکرد عادی و ۱۰٪ افت ولتاژ در حالت استارت برای تجهیزات در نظر بگیرد و این افت ولتاژ را از منبع توزیع انرژی تا مصرف‌کننده توزیع نماید. اما در سدها گاهاً به‌منظور اطمینان از اینکه در صورت افزوده شدن مصارف آتی و توسعه تجهیزات، سیستم دچار افت ولتاژ نگردد، اعداد و ارقام فوق را به شکل زیر در نظر گرفته و افت ولتاژ را توزیع می‌کنند.

در این نظریه میزان افت از منبع تا تابلوی توزیع محلی را ۳٪ و از تابلوی توزیع محلی تا مصرف‌کننده را ۲٪ (در حالت کارکرد عادی) در نظر می‌گیرند. بدیهی است که می‌توان افت ولتاژ در حالت استارت را هم به همین نسبت توزیع کرد. در ادامه می‌بینید که محاسبات بر همین اساس انجام شده‌اند.

همچنین به منظور یکنواختی و وضوح بیشتر عبارات، خلاصه‌نویسی‌ها و مخفف‌های زیر تعریف می‌شوند:

ABBREVIATIONS

FLC	:	Full Load Current
I_t	:	Total Current
I_{st}	:	Starting Current ($6 \times I_n$ for Squirrel Cage Motors)
ΔU_n	:	Voltage Drop (5%)

ΔU_{st} : Starting Voltage Drop (10%)

X : Copper Conductivity (56 m/Ωmm^2)

IF : Installation Factor (IF=1)

TF : Thermal Factor

دمای محیط ۳۰ درجه سانتیگراد در نظر گرفته می‌شود. از اینرو ضریب اصلاح حرارتی برابر ۱ در نظر گرفته خواهد شد.

Average Temperature = $30^{\circ C} \Longrightarrow$ TF = 1

در ادامه، محاسبات افت ولتاژ برای تک‌تک کابلها، به‌صورت جداگانه انجام خواهد شد و پس از به‌دست آمدن سطح مقطع مورد نظر، اولین سطح مقطع نُرم شدهٔ پس از آن در نظر گرفته می‌شود و در نهایت میزان افت ولتاژ با سطح مقطع انتخاب شده، مجدداً محاسبه می‌شود:

کابل شماره ۱۱۰: این کابل تابلوی شیر و پروانه‌ای (BFVP) را از تابلوی توزیع اصلی (MDP) تغذیه می‌کند.

L = 350 m	VD_n = 3%	VD_{St} = 6%

Consumers of *BFVP*			
Index	**Description**	**Specification**	
1	BFV 2000	1.76A, Cosφ= 0.82	I_{St}=4.65A, $Cos\varphi_{St}$= 0.65
2	Lighting	10A (3ϕ), Cosφ= 1	
3	Other Consumers	3.8A (3ϕ), Cosφ=0.8	

I_n = BFV 2000 + Lighting + other Consumers = 15.6A , Cosφ=0.98

$$I_c = \frac{I_n}{IF.TF} = \frac{15.6}{1\times1} = 15.6\ A \qquad \Rightarrow \qquad S_{th} = 4\ mm^2$$

$$S_{vd_n} = \frac{100\sqrt{3}\times I_n \times L \times \cos\varphi_n}{\chi \times U \times \Delta U_n} = \frac{100\sqrt{3}\times 15.6\times 350\times 0.98}{56\times 380\times 3} = 14.52\ \ mm^2$$

I_{st} = BFV 2000 + Lighting + other Consumers = 18. 5 A , Cosφ=0.94

$$S_{vd\,st} = \frac{100\sqrt{3}\times I_{st} \times L \times \cos\varphi_{St}}{\chi \times U \times \Delta U_{st}} = \frac{100\sqrt{3}\times 18.5\times 350\times 0.94}{56\times 380\times 6} = 8.3\,mm^2$$

بنابراین سطح مقطع زیر انتخاب خواهد شد:

$S_{110} = 4 \times 16\ \ mm^2$

$$\Delta U\% = \frac{14.52}{16}\times 3 = 2.723\%$$

کابل شماره ۱۲۰: این کابل تابلوی توزیع شیرخانه (VRDP) را از تابلوی توزیع اصلی (MDP) تغذیه می‌کند.

L = 450 m	VD_n = 3%	VD_{St} = 6%

Consumers of *VRDP*			
Index	**Description**	**Specification**	
1	HBV No.1 (DN400)	1.1A, Cosφ= 0.83	
2	HBV No.2 (DN1200)	1.68 A, Cosφ= 0.82	
3	HBV No.3 (DN400)	1.1A, Cosφ= 0.83	
4	BFV 1600	1.76A, Cosφ=0.82	
5	Overhead Crane	Normal	29.1A, Cosφ=0.8 , η= 0.75
		Start	149.1A, Cosφ=0.35
6	Central Control Room	5A (3ϕ), Cosφ=1	
7	Exterior Lighting	10A (3ϕ), Cosφ=1	
8	Interior Lighting	10A (3ϕ), Cosφ=0.95	
9	Power Socket	25A (1ϕ), Cosφ=0.8	
10	Power Socket	16A (3ϕ), Cosφ=0.8	
11	Other Consumers	5.3A (3ϕ), Cosφ=0.8	

I_n = (HBV No.1 + HBV No.2 + HBV No.3 + BFV 1600 + Crane)* 0.7 +
C.C.R Ltg + Ext. Ltg + Int. Ltg + 0.5 * P.S. (1ϕ) + P.S. (3ϕ) + other Consumers
= 83.2 A, Cosφ=0.87

$$I_c = 83.2\,A \qquad \Rightarrow \qquad S_{th} = 25\,mm^2$$

$$S_{vd_n} = \frac{100\sqrt{3} \times I_n \times L \times \cos\varphi}{\chi \times U \times \Delta U} = \frac{100\sqrt{3} \times 83.2 \times 450 \times 0.87}{56 \times 380 \times 3} = 88.4 \ \ mm^2$$

I_{st} = (HBV No.1 + HBV No.2 + HBV No.3 + BFV 1600)* 0.8 + Crane $_{St}$ +

C.C.R Ltg + Ext. Ltg + Int. Ltg + 0.5 * P.S. (1ϕ) + P.S. (3ϕ) + other Consumers =

= 212.4 A, Cosφ=0.54

$$S_{vd_{st}} = \frac{100\sqrt{3} \times I_{st} \times L \times \cos\varphi}{x\ U_L\ \Delta U_{st}} = \frac{100\sqrt{3} \times 212.4 \times 450 \times 0.54}{56 \times 380 \times 6} = 70.02 \ \ mm^2$$

بنابراین سطح مقطع زیر انتخاب می‌گردد:

$S_{120} = 3 \times 95 + 50 \quad mm^2$

$$\Delta U\% = \frac{88.4}{95} \times 3 = 2.79\%$$

کابل شماره ۱۳۰: این کابل تابلوی توزیع فرعی تخلیه تحتانی (BODP) را از تابلوی توزیع اصلی (MDP) تغذیه می‌کند.

L = 280 m	VD_n = 3%	VD_{St} = 6%

Consumers of *BODP*			
Index	**Description**	**Specification**	
1	Hydraulic Power Unit	11.4A, Cosφ= 0.86 , η= 0.86	
2	Overhead Crane	Normal	15.1A, Cosφ=0.8 , η= 0.75
		Start	90.6A, Cosφ=0.35
3	B.O. Chamber Lighting	4A (3ϕ), Cosφ=0.95	
4	Access Gallery Lighting	6A (3ϕ), Cosφ=0.95	
5	Power Socket	25A (1ϕ), Cosφ=0.8	
6	Power Socket	16A (3ϕ), Cosφ=0.8	
7	Other Consumers	3.8A (3ϕ), Cosφ=0.8	

I_n = HPUP + $Crane_n$ + B.O. Chamber Lighting + Access gallery Lighting + 0.5 * P.S. (1ϕ) + P.S. (3ϕ) + other Consumers = 68.8 A, Cosφ=0.84

$$I_c = 68.8\,A \qquad \Rightarrow \qquad S_{th} = 16\,mm^2$$

$$S_{vd_n} = \frac{100\sqrt{3}\times I_n \times L \times \cos\varphi}{\chi \times U \times \Delta U} = \frac{100\sqrt{3}\times 68.8 \times 280 \times 0.84}{56 \times 380 \times 3} = 43.9\ \ mm^2$$

I_{st} = HPUP + $Crane_{St}$ + B.O. Chamber Lighting + Access gallery Lighting + 0.5 * P.S. (1ϕ) + P.S. (3ϕ) + other Consumers = 144.3 A, Cosφ=0.56

$$S_{vd_{st}} = \frac{100\sqrt{3}\times I_{st} \times L \times \cos\varphi}{x\ U_L\ \Delta U_{st}} = \frac{100\sqrt{3}\times 144.3 \times 280 \times 0.56}{56 \times 380 \times 6} = 30.7\ \ mm^2$$

بنابراین سطح مقطع زیر در نظرگرفته می‌شود:

$S_{130} = 3 \times 50 + 25 \quad mm^2$

$$\Delta U\% = \frac{43.9}{50} \times 3 = 2.63\%$$

کابل شماره ۱۴۰: این کابل تابلوی توزیع فرعی اتاق دریچه‌های رأس (IGDP) را از تابلوی توزیع اصلی (MDP) تغذیه می‌کند.

L = 280 m	VD_n = 3%	VD_{St} = 6%

Consumers of *IGDP*			
Index	**Description**	**Specification**	
1	Overhead Crane	Normal	62.7A, Cosφ=0.8 , η= 0.8
		Start	347.7A, Cosφ=0.36
2	Ext. Lighting	6A (3ϕ), Cosφ=1	
3	Int. Lighting	10A (3ϕ), Cosφ=0.95	
4	Power Socket	25A (1ϕ), Cosφ=0.8	
5	Power Socket	16A (3ϕ), Cosφ=0.8	
6	Other Consumers	3.8A (3ϕ), Cosφ=0.8	

I_n = Crane $_n$ + Exterior Lighting + Interior Lighting + 0.5 * P.S. (1ϕ) + P.S. (3ϕ) + other Consumers = 111 A, Cosφ=0.84

$$I_c = 111\,A \qquad \Rightarrow \qquad S_{th} = 35\,mm^2$$

$$S_{vd_n} = \frac{100\sqrt{3}\times I_n \times L \times \cos\varphi}{\chi \times U \times \Delta U} = \frac{100\sqrt{3}\times 111\times 280\times 0.84}{56\times 380\times 3} = 70.8\ \ mm^2$$

I_{st} = Crane $_{St}$ + Exterior Lighting + Interior Lighting + 0.5 * P.S. (1ϕ) + P.S. (3ϕ) + other Consumers = 396 A, Cosφ=0.43

$$S_{vd_{st}} = \frac{100\sqrt{3}\times I_{st} \times L \times \cos\varphi}{x\ U_L\ \Delta U_{st}} = \frac{100\sqrt{3}\times 396\times 280\times 0.43}{56\times 380\times 6} = 64.7\ \ mm^2$$

بنابراین سطح مقطع زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$S_{140} = 3 \times 70 + 35 \quad mm^2$$

$$\Delta U\% = \frac{70.8}{70}\times 3 = 3.03\%$$

کابل شماره ۳۱۰: این کابل عملگر شیر پروانه (DN 2000) را از تابلوی کنترل / قدرت شیر پروانه‌ای مذکور (BFVP) تغذیه می‌کند.

L = 25 m	$VD_n = 2\%$	$VD_{St} = 4\%$

Consumers:

Condition	Current	Cosφ
Normal	3.96	0.82
Start	8.45	0.72

$$I_c = 3.96\,A \qquad \Rightarrow \qquad S_{th} = 1.5\,mm^2$$

$$S_{vd_n} = \frac{100\sqrt{3} \times I_n \times L \times \cos\varphi}{\chi \times U \times \Delta U} = \frac{100\sqrt{3} \times 3.96 \times 25 \times 0.82}{56 \times 380 \times 2} = 0.33\ \ mm^2$$

$$S_{vd_{st}} = \frac{100\sqrt{3} \times I_{st} \times L \times \cos\varphi}{x\ U_L\ \Delta U_{st}} = \frac{100\sqrt{3} \times 8.45 \times 25 \times 0.72}{56 \times 380 \times 4} = 0.31\ mm^2$$

در نتیجه سطح مقطع زیر انتخاب می‌گردد:

$S_{310} = 5 \times 2.5\ \ mm^2$

$$\Delta U\% = \frac{0.13}{2.5} \times 2 = 0.10\%$$

کابل شماره ۳۲۰: این کابل تابلوی کنترل / قدرت جرثقیل سقفی ۹/۵ کیلوواتی را از تابلوی (VRDP) تغذیه می‌کند.

L = 25 m	$VD_n = 2\%$	$VD_{St} = 4\%$

Consumers:

Condition	Current	Cosφ
Normal	31.3	0.8
Start	151.3	0.35

$$I_c = 31.3\,A \qquad \Rightarrow \qquad S_{th} = 4\,mm^2$$

$$S_{vd_n} = \frac{100\sqrt{3} \times I_n \times L \times \cos\varphi}{\chi \times U \times \Delta U} = \frac{100\sqrt{3} \times 31.3 \times 25 \times 0.8}{56 \times 380 \times 2} = 2.55\ mm^2$$

$$S_{vd_{st}} = \frac{100\sqrt{3} \times I_{st} \times L \times \cos\varphi}{x\ U_L\ \Delta U_{st}} = \frac{100\sqrt{3} \times 151.3 \times 25 \times 0.35}{56 \times 380 \times 4} = 2.7\ mm^2$$

بنابراین سطح مقطع زیر انتخاب می‌گردد:

$S_{320} = 5 \times 4\ mm^2$

$$\Delta U\% = \frac{2.55}{4} \times 2 = 1.28\%$$

کابل شماره ۳۳۰: این کابل تابلوی کنترل / قدرت جرثقیل سقفی ۴/۵ کیلوواتی مستقر در اتاق دریچه‌های تخلیه تحتانی را از تابلوی توزیع فرعی همان اتاق (BODP) تغذیه می‌کند.

L = 25 m	$VD_n = 2\%$	$VD_{St} = 4\%$

Consumers:

Condition	Current	Cosφ
Normal	17.3	0.8
Start	91.9	0.36

$$I_c = 17.3\,A \qquad \Rightarrow \qquad S_{th} = 1.5\,mm^2$$

$$S_{vd_n} = \frac{100\sqrt{3} \times I_n \times L \times \cos\varphi}{\chi \times U \times \Delta U} = \frac{100\sqrt{3} \times 17.3 \times 25 \times 0.8}{56 \times 380 \times 2} = 1.41\ mm^2$$

$$S_{vd_{st}} = \frac{100\sqrt{3} \times I_{st} \times L \times \cos\varphi}{x\ U_L\ \Delta U_{st}} = \frac{100\sqrt{3} \times 91.9 \times 25 \times 0.36}{56 \times 380 \times 4} = 1.68\ mm^2$$

از این رو سطح مقطع زیر انتخاب می‌گردد:

$S_{330} = 5 \times 2.5\ \ mm^2$

$$\Delta U\% = \frac{1.41}{2.5} \times 2 = 1.13\%$$

کابل شماره ۳۳۱: این کابل تابلوی کنترل / قدرت سیستم هیدرولیک تخلیه تحتانی (HPCP) را از تابلوی BODP تغذیه می‌کند.

L = 10 m	$VD_n = 2\%$	$VD_{St} = 4\%$

Consumers:

Condition	Current	Cosφ
Normal	13.6	0.86
Start	72.2	0.66

$$I_c = 13.6\,A \qquad \Rightarrow \qquad S_{th} = 1.5\,mm^2$$

$$S_{vd_n} = \frac{100\sqrt{3} \times I_n \times L \times \cos\varphi}{\chi \times U \times \Delta U} = \frac{100\sqrt{3} \times 13.6 \times 10 \times 0.86}{56 \times 380 \times 2} = 0.48\ mm^2$$

$$S_{vd_{st}} = \frac{100\sqrt{3} \times I_{st} \times L \times \cos\varphi}{x\ U_L\ \Delta U_{st}} = \frac{100\sqrt{3} \times 72.2 \times 10 \times 0.66}{56 \times 380 \times 4} = 0.97\ mm^2$$

بنابراین سطح مقطع زیر در نظرگرفته می‌شود:

$S_{331} = 5 \times 2.5\ mm^2$

$$\Delta U\% = \frac{0.48}{2.5} \times 2 = 0.38\%$$

کابل شماره ۳۴۰: این کابل تابلوی کنترل / قدرت جزثقیل ۲۴ کیلوواتی برج آبگیر (اتاق دریچه‌های رأس) را از تابلوی توزیع فرعی همان اتاق (IGDP) تغذیه می‌کند.

L = 25 m	$VD_n = 2\%$	$VD_{St} = 4\%$

Consumers:

Condition	Current	Cosφ
Normal	64.9	0.8
Start	349.9	0.36

$$I_c = 64.9\,A \qquad \Rightarrow \qquad S_{th} = 16\,mm^2$$

$$S_{vd_n} = \frac{100\sqrt{3} \times I_n \times L \times \cos\varphi}{\chi \times U \times \Delta U} = \frac{100\sqrt{3} \times 64.9 \times 25 \times 0.8}{56 \times 380 \times 2} = 5.3\ mm^2$$

$$S_{vd_{st}} = \frac{100\sqrt{3} \times I_{st} \times L \times \cos\varphi}{x\ U_L\ \Delta U_{st}} = \frac{100\sqrt{3} \times 349.9 \times 25 \times 0.36}{56 \times 380 \times 4} = 6.41\ mm^2$$

از این رو سطح مقطع زیر انتخاب می‌گردد:

$S_{340} = 5 \times 16\ \ mm^2$

$$\Delta U\% = \frac{5.3}{16} \times 2 = 0.67\%$$

کابل شماره ۱۰۰: این کابل تابلوی توزیع اصلی (MDP) را از ترانسفورماتور (20/0.4 kV) تغذیه می‌کند.

Consumers of *MDP*			
Index	**Description**	**Specification**	
1	IGDP	Normal	68.8 A, Cosφ=0.84
		Start	396.43 A, Cosφ=0.43
2	BFVP	44.1 A, Cosφ=0.88	
3	BODP	111 A, Cosφ=0.81	
4	VRDP	83.2 A, Cosφ=0.87	
5	Package Unit	5 A (3φ)	
6	Other Lighting	25 A (3φ)	
7	Other Consumers	16 A (3φ)	

I_n = IGDP $_n$ + BFVP + BODP + Package Unit + Other Ltg + Other Consumers =
= 352.98 A, Cosφ=0.89

$$I_c = \frac{352.98}{1\times 1} = 352.98\ \text{A} \qquad \Rightarrow \qquad S_{th} = 185\ \text{mm}^2$$

$$S_{vd_n} = \frac{100\sqrt{3}\times I_n \times L \times \cos\varphi_n}{\chi \times U \times \Delta U_n} = \frac{100\sqrt{3}\times 352.98\times 30\times 0.89}{56\times 380\times 0.93} = 82.48\ \text{mm}^2$$

Now we check the $S_{vd_{st}}$ for simultaneously load of greatest consumer with other normal consumptions (such as lightings):

I_{st} = IGDP $_{St}$ + BFVP + BODP + Package Unit + Other Ltg + Other Consumers =
= 762.08 A, Cosφ=0.57

$$S_{vd_{st}} = \frac{100\sqrt{3}\times I_{st} \times L \times \cos\varphi_{St}}{\chi \times U \times \Delta U_{st}} = \frac{100\sqrt{3}\times 762.08\times 30\times 0.57}{56\times 380\times 2.88} = 36.83\,\text{mm}^2$$

در نتیجه سطح مقطع زیر در نظر گرفته خواهد شد:

$S_{100} = 3 \times 185 + 95\ \text{mm}^2$

$$\Delta U\% = \frac{82.48}{185}\times 0.93 = 0.415\%$$

با توجه به اینکه مقدار جریان مجموع، از محاسبات فوق برابر ۳۵۲/۹۸ آمپر به دست آمده است، قدرت ترانسفورماتور مورد نظر می‌بایست حداقل ۲۴۵ کیلوولت آمپر به اضافه مصارف دیگر باشد که به شکل زیر محاسبه گردیده است:

$$S=\sqrt{3}\times 400\times 352.98=245\,\text{kVA} \;+\; \text{other consumers.}$$

۳-۳- سیستم زمین الکتریکی و حفاظتی

۳-۳-۱- کلیات

قبل از ورود به بحث محاسبات سیستم زمین، بحث کوچکی در مورد انواع سیستم‌های زمین و چگونگی انجام محاسبات مربوطه را مطرح می‌نماییم:

۳-۳-۱-۱- انواع سیستم‌های زمین (از نظر کاربرد)

اصولاً سیستم زمین به دو نوع تقسیم می‌شود.

الف) زمین تاسیساتی

ب) زمین حفاظتی

الف) زمین تاسیساتی

در ابتدای پیدایش صنعت برق نقطه نوترال آلترناتورها و ترانسفورماتورها را به زمین متصل نمی‌کردند. این شبکه‌ها به شبکه‌های «نوترال مجزا» معروف بودند. با توسعه شبکه‌ها و افزایش ولتاژ آنها، جریان‌ها در حا لت اتصال یک فاز به زمین قابل ملاحظه گردید که متناوباً، خودبه‌خود قطع و وصل می‌شد و در محل اتصال جرقه‌ای ایجاد می‌نمود که به پدیده «زمین جرقه‌زن» معروف گردید. به هنگام اتصالی، این پدیده سبب افزایش ولتاژ فازهای سالم، نسبت به زمین و به‌وجود آمدن اختلالات در شبکه می‌گردید که موجب ایراد صدمه به دستگاه‌ها می‌شد. اتصال نوترال شبکه به زمین مانع

این افزایش ولتاژها می‌گردد زیرا در صورت اتصال اتفاقی یک فاز به زمین، جریان زیادی در مدار برقرار می‌شود که سبب قطع مدار توسط رله‌های حفاظتی یا فیوزها می‌شود. ولی عیب مهم این سیستم‌ها (سیستم‌های زمین شده) این‌است که در صورتی که شخصی بین زمین و فاز قرار گیرد به‌دلیل برقراری مداری که او را نیز شامل می‌شود، دچار برق گرفتگی می‌شود. ولی با وجود عیب فوق که با رعایت نکات ایمنی قابل برطرف شدن است، مزایای زیادی نیز در کنار اجرای این سیستم به‌دست خواهد آمد.

ب) زمین حفاظتی

اتصال بدنه فلزی تجهیزات به زمین را زمین کردن حفاظتی می‌گویند و عموماً به دو دلیل زیر انجام می‌شود:

۱- حفاظت تجهیزات

۲- ایمنی افراد اعم از مصرف‌کننده، افراد عملیاتی و...

برای این منظور پس از محاسبه سیم‌های هادی که برای سیستم زمین استفاده می‌شوند، اقدام به ایجاد سیستم زمین حفاظتی می‌نماییم.

۳-۳-۱-۲- انواع سیستم‌های زمین (از نظر نوع اتصال)

سیستم‌های زمین را از نظر اتصال نقطهٔ صفر و همچنین اتصال بدنه تجهیزات به زمین به چند دسته تقسیم می‌کنند که نامگذاری آنها به شرح زیر توضیح داده می‌شود. مطابق استانداردهای معروف دنیا، در نامگذاری این سیستم‌ها از دو بخش حرفی استفاده می‌شود که توضیح هر کدام در ذیل آمده است.

T= ternal زمین	I=Isolated مجزا
N= Nutral(نول) خنثی	S=Seprate جداگانه
C= Common مشترک	

در نامگذاری هر بخشی از حروف مشخصه‌ای که در جدول فوق توضیح داده شده استفاده می‌شود و آن نام بیانگر چگونگی اجرای سیستم زمین می‌باشد به‌عنوان مثال سیستم TN-S سیستمی است که در آن نقطهٔ صفر شبکه به زمین وصل شده است و سیم‌های نول و ارت به‌صورت جداگانه و بدون اتصال به هم تا نزدیک مصرف‌کننده آورده شده‌اند و یا مثلاً TN-C-S سیستمی است که نقطهٔ صفر شبکه در آن سیستم به زمین متصل شده است و سیم‌های نول وارت تا بخشی از مسیر یکی هستند ولی در اولین مصرف‌کننده به‌صورت جداگانه کشیده می‌شوند.

۳-۳-۱-۳- طریقه محاسبه سطح مقطع سیم‌های زمین

بسته به نوع سیستم زمینی که اجرا می‌کنیم و سیم‌هایی که برای آن درنظر می‌گیریم، همانند محاسبات سطح مقطع کابل‌های قدرت، یک Layout کلی در نظر گرفته هر کدام از سیم‌های زمین را شماره‌گذاری می‌کنیم. چون هر کدام را باید با یک مقاومت مدل کنیم، می‌توانیم روی Layout در نظر گرفته شده هر سیم زمین را با R'_i نشان دهیم در ضمن در این Layout، سیم‌های قدرت نیز نشان داده شده‌اند که آنها را نیز با مقاومت‌های متناظر سیم‌های زمینشان نشان می‌دهیم (R_i). پس از تکمیل Layout مربوطه با توجه به فرمول‌های زیر محاسبات را شروع می‌کنیم.

نخست مقدار مقاومت سیم‌ها و کابل‌ها را محاسبه می‌کنیم. البته این مقدار را سازنده‌ها در بروشور و کاتالوگ‌های خود ارائه می‌کنند (جدول ذیل) ولی به‌صورت کلی می‌توان مقدار مقاومت اهمی یک هادی را با توجه به جنس هادی از طریق فرمول زیر محاسبه کرد.

$$R = \frac{L}{\chi \times A}$$

در فرمول فوق L طول سیم یا کابل برحسب متر، A سطح مقطع برحسب میلیمتر مربع و χ ضریب هدایت الکتریکی هادی می‌باشد که برای مس ۵۶ و برای آلومینیوم ۳۵ است.

سطح مقطع نامی	ضخامت عایق	وزن تقریبی	قطر کلی	بیشترین مقاومت در ۲۰°c	ظرفیت جریان در ۲۵°c
mm^2	mm	Kg/km	mm	Ω/km	A
۱×۱/۵	۰/۸	۵۰/۳۰	۵/۷۸	۱۲/۱۰	۲۴
۱×۲/۵	۰/۸	۶۱/۷۳	۶/۱۸	۷/۴۱	۳۲
۱×۴	۱/۰	۸۵/۷۲	۷/۰۵	۴/۶۱	۳۷
۱×۶	۱/۰	۱۰۹/۱۰	۷/۵۶	۳/۰۸	۴۸
۱×۱۰	۱/۰	۱۵۳/۶۴	۸/۳۷	۱/۸۳	۶۶
۱×۱۶	۱/۰	۲۳۴/۳۱	۹/۹۰	۱/۱۵	۸۹
۱×۲۵	۱/۲	۳۴۹/۳	۱۱/۶۲	۰/۷۲۷	۱۱۸
۱×۳۵	۱/۲	۴۵۵/۸۷	۱۲/۷۶	۰/۵۲۴	۱۴۵
۱×۵۰	۱/۴	۵۹۳/۹	۱۴/۵	۰/۳۸۷	۱۷۶
۱×۷۰	۱/۴	۸۲۰/۸۵	۱۵/۸۴	۰/۲۶۸	۲۲۴
۱×۹۵	۱/۶	۱۱۱۶/۵	۱۵/۹۲	۰/۱۹۳	۲۷۱
۱×۱۲۰	۱/۶	۱۳۶۶/۴	۲۰/۶۱	۰/۱۵۳	۳۱۴
۱×۱۵۰	۱/۸	۱۶۶۳/۲	۲۲/۵	۰/۱۲۴	۳۶۱
۱×۱۸۵	۲/۰	۱۰۷۳/۷	۲۵/۰۴	۰/۰۹۹۱	۴۱۲
۱×۲۴۰	۲/۲	۲۶۸۱/۸	۲۸/۲۵	۰/۰۷۵۴	۴۸۴
۱×۳۰۰	۲/۴	۳۳۹۷/۳	۳۱/۲۸	۰/۰۶۰	۵۴۹

۳-۳-۱-۴- روش‌های محاسبه مقطع سیم زمین

اصولاً به دو روش می‌توان سیم زمین را محاسبه کرد.

روش اول: در این روش یک سطح مقطع نُرم شده (حداقل نصف سطح مقطع کابل قدرت) در نظر می‌گیریم و با توجه به مقاومت به‌دست آمده از سیم مورد نظر جریان خطا را محاسبه می‌کنیم. این جریان از تقسیم ولتاژ فاز ($V\phi$) بر مجموع مقاومت‌های مسیر به‌دست می‌آید. حال باید چک کنیم که این جریان از جریان اتصال کوتاه مدار بیشتر باشد. در این‌صورت سیم درنظر گرفته شده قادر به عبور جریان اتصال کوتاه به هنگام اتصالی، می‌باشد.

روش دوم: این روش بهینه‌تر است. در این روش با توجه به فرمول قبل مقاومت کابل یا سیم مورد نظر را (با در نظر گرفتن طول آن) به‌دست می‌آوریم سپس مدار معادل حالت اتصالی را رسم کرده و شرایط زیر را چک می‌کنیم.

$$I_f > I_{SC} \qquad (۱)$$

شرط فوق قابلیت تحمل کابل یا سیم را در برابر عبور جریان اتصال کوتاه از آن، برای ما تضمین می‌کند حال به‌جای I_f ، مقدار (ولتاژ فاز تقسیم بر مجموع مقاومت‌های مسیر) را می‌گذاریم با به‌دست آوردن حداکثر مقدار R' مربوط به قسمت مجهول، (قسمتی که می‌خواهیم سطح مقطع سیم آن را به‌دست آوریم) می‌توانیم حداقل سطح مقطع سیم مورد نظر را به‌دست آوریم و با روشن شدن این مقدار آنرا به سایزهای بالاتر نُرم کرده و اجرا می‌کنیم.

۳-۳-۲- محاسبات اتصال کوتاه

پس از مقدماتی که ارائه شد، می‌توانیم وارد محاسبات اتصال کوتاه و تعیین سطح مقطع سیم‌های زمین شویم. همانگونه که ذکر گردید، برای اطمینان از تحمل جریان اتصال کوتاه در سیم‌های زمین می‌بایست پس از به‌دست آوردن مدار معادل مربوط به هر تابلو و با در نظر گرفتن ظرفیت کلید ورودی تابلوی محاسبات اتصال کوتاه انجام شود و سطح مقطع سیم زمین طوری تعیین شود که بتواند این جریان را تحمل کند و دچار آسیب نگردد. در این پروژه ما مطابق روش دوم که در بند قبل ذکر گردید،

محاسبات را انجام داده و سطح مقطع سیمهای زمین را مشخص می‌سازیم. فقط ذکر این نکته لازم است که در برخی موارد برای بهینه شده طراحی می‌توان از یک سیم اصلی به‌عنوان باس زمین اصلی استفاده کرد و سیمهای دیگر را به این سیم متصل کرد. در این‌صورت طراحی بهینه‌تر گردیده و حجم سیمهای مصرفی پائین‌تر خواهد بود. در این پروژه نیز از همین روش استفاده خواهد شد.

در این پروژه سیستم زمینی که در نظر گرفته می‌شود، سیستم TN-C-S و مطابق با استاندارد IEEE می‌باشد.

Abbreviations

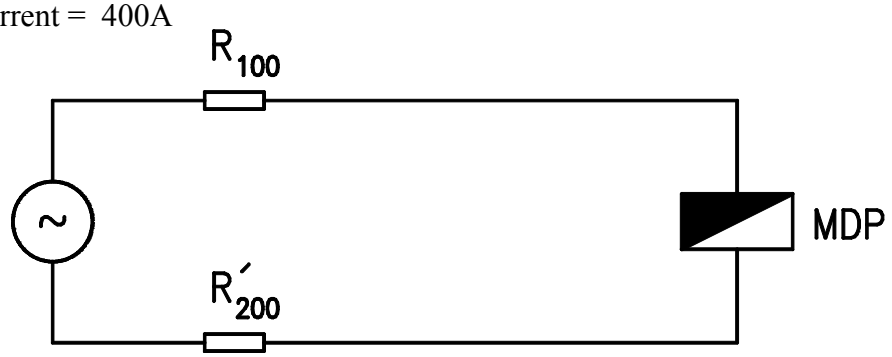
L	***:***	***Length***
χ	***:***	***Copper Conductivity***
A	***:***	***Cross Section***

مطابق استاندارد IEEE ضریب اطمینان برای محاسبات ذیل، ۱/۲۵ در نظر گرفته شده است. همچنین ضریب آستانهٔ قطع مغناطیسی برای کلیدهای محافظ موتور ۸ تا ۱۲ برابر جریان نامی و برای کلیدهای با آستانه قطع مغناطیسی کم[1]، ۳ تا ۸ برابر جریان نامی کلید در نظر گرفته خواهد شد. در ادامه مدار معادل هر تابلو کشیده شده و با توجه به اطلاعات داده شده در فوق سطح مقطع سیم زمین محاسبه شده است.

1 - Low Threshold.

MDP (Main Distribution Panel):

MCCB rated current = 400A
L = 30 m



$$I_{SC} = 1.25 \times 12 \times 400 = 6000A$$

$$R_1 = \frac{L}{\chi A} = \frac{30}{56 \times 185} = 0.0029\Omega$$

$$I_f > I_{SC} \Rightarrow = \frac{V\phi}{R_{100} + R'_{200}} > I_{SC}$$

$$\Rightarrow \frac{V\phi}{R_{100} + R'_{200}} > 6000A \quad \Rightarrow R_{100} + R'_{200} < \frac{V\phi}{6000}$$

$$R_{100} + R'_{200} < \frac{220}{6000} \quad \Rightarrow \quad R_{100} + R'_{200} < 0.0367\Omega$$

$$R'_{200} < 0.0367 - 0.0029 \quad \Rightarrow \quad R'_{200} < 0.0338\Omega$$

$$\frac{L}{\chi A'} < 0.0338\Omega \Rightarrow \frac{30}{56 \times A'} < 0.0338$$

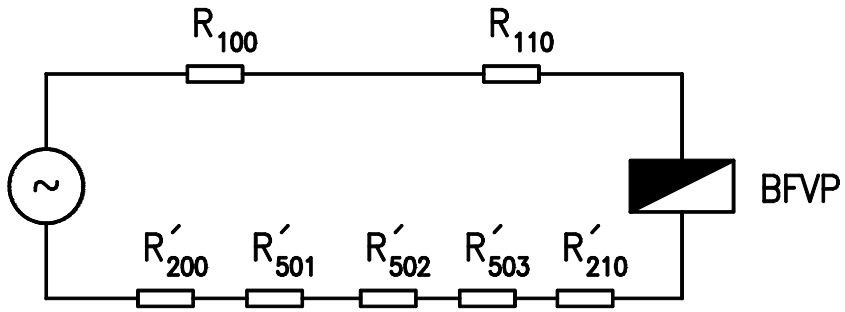
$$\Rightarrow \quad A' > \frac{30}{56 \times 0.0338} \quad \Rightarrow \quad A' > 15.85\,mm^2$$

We can use from null strand of power cable. So:

$$A' = 95\,mm^2 \quad \Rightarrow \quad R'_{200} = 0.0056\Omega$$

BFVP (Butterfly Valve Distribution Panel):

MCCB rated current = 63A
L = 60 m



$I_{SC} = 1.25 \times 12 \times 63A = 945A$

$R_{100} = 2.9$	$m\Omega$	$R'_{210} = ?$	$m\Omega$
$R_{110} = 125$	$m\Omega$	$R'_{503} = 30$	$m\Omega$
		$R'_{502} = 22.5$	$m\Omega$
		$R'_{501} = 13.2$	$m\Omega$
		$R'_{200} = 5.6$	$m\Omega$

$\Sigma R = (R'_{210} + 199.2)\ m\Omega$

$$I_{SC} < I_f \Rightarrow 945 < \frac{V\phi}{\Sigma R} \Rightarrow R'_{210} < \frac{220}{945} - 0.1992$$

$$R'_{210} < 33.6 m\Omega \Rightarrow A' > \frac{L}{X \times R'} \Rightarrow$$

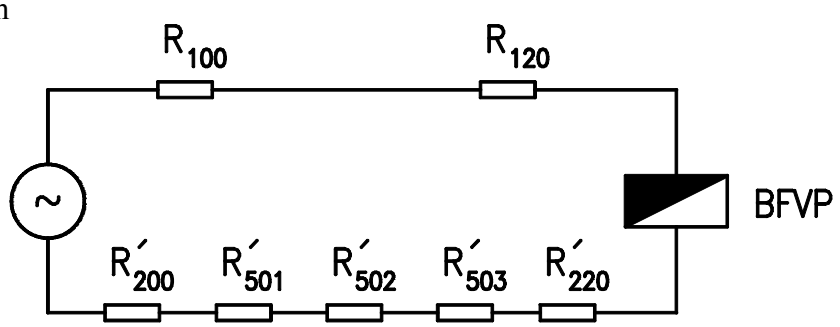
$$A' > \frac{60}{56 \times 0.0336} \Rightarrow A' > 31.88$$

Ground wire for this Panel $= 1 \times 35 mm^2$

$R'_{210} = 30.6 m\Omega$

VRDP (Valve Room Distribution Panel):

MCCB rated Current = 100A
L = 100 m



$I_{SC} = 1.25 \times 9 \times 100A = 1125A$

$R_{100} = 2.9$	$m\Omega$	$R'_{220} = ?$	$m\Omega$
$R_{120} = 84.6$	$m\Omega$	$R'_{503} = 30$	$m\Omega$
		$R'_{502} = 22.5$	$m\Omega$
		$R'_{501} = 13.2$	$m\Omega$
		$R'_{200} = 5.6$	$m\Omega$

$\Sigma R = (R'_{220} + 158.8)\ m\Omega$

$$I_{SC} < I_f \Rightarrow 1125 < \frac{V\phi}{\Sigma R} \Rightarrow R'_{220} < \frac{220}{1125} - 0.1588$$

$$R'_{220} < 36.7\,m\Omega \Rightarrow A' > \frac{L}{X \times R'} \Rightarrow$$

$$A' > \frac{100}{56 \times 0.0367} \Rightarrow A' > 48.58$$

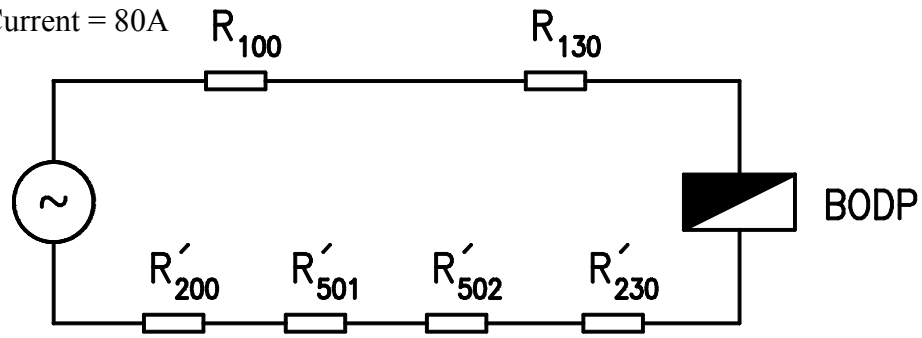
we can use following cross section for this ground cable.

$$\Rightarrow \boxed{A' = 1 \times 50\,mm^2}$$

$R'_{220} = 35.7\ m\Omega$

BODP (Bottom Outlet Distribution Panel):

MCCB rated Current = 80A
L = 90 m



$I_{SC} = 1.25 \times 11 \times 80A = 1100A$

$R_{100} = 2.9$	$m\Omega$	$R'_{230} = ?$	$m\Omega$
$R_{130} = 100.0$	$m\Omega$	$R'_{502} = 22.5$	$m\Omega$
	$m\Omega$	$R'_{501} = 13.2$	$m\Omega$
		$R'_{200} = 5.6$	$m\Omega$

$\Sigma R = (R'_{230} + 144.2)\ m\Omega$

$$I_{SC} < I_f \Rightarrow 1100 < \frac{V\phi}{\Sigma R} \Rightarrow R'_{230} < \frac{220}{1100} - 0.1442$$

$$R'_{230} < 55.8 m\Omega \Rightarrow A' > \frac{L}{X \times R'} \Rightarrow$$

$$A' > \frac{90}{56 \times 0.0558} \Rightarrow A' > 28.8$$

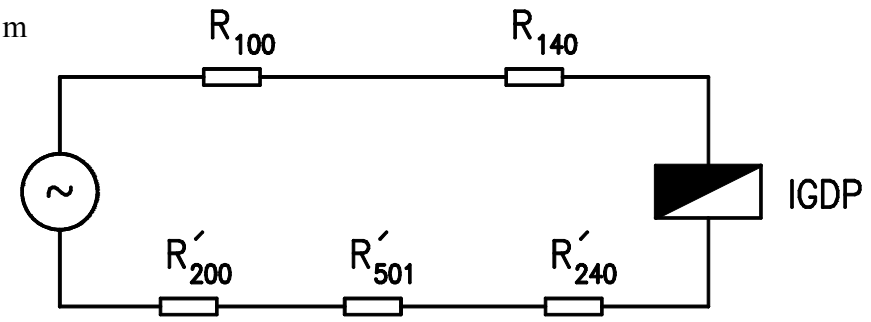
Ground Cable for this Panel $= 1 \times 35 mm^2$

$R'_{230} = 45.9\ m\Omega$

IGDP (Intake Gate chamber Distribution Panel):

MCCB rated Current = 125A

L = 210 m



$I_{SC} = 1.25 \times 10 \times 125A = 1563A$

$R_{100} = 2.9$	$m\Omega$	$R'_{240} = ?$	$m\Omega$
$R_{140} = 71.4$	$m\Omega$	$R'_{501} = 13.2$	$m\Omega$
		$R'_{200} = 5.6$	$m\Omega$

$\Sigma R = (R'_{240} + 93.1)\ m\Omega$

$$I_{SC} < I_f \Rightarrow 1563 < \frac{V\phi}{\Sigma R} \Rightarrow R'_{240} < \frac{220}{1563} - 0.0931$$

$$R'_{240} < 47.6 m\Omega \Rightarrow A' > \frac{L}{X \times R'} \Rightarrow$$

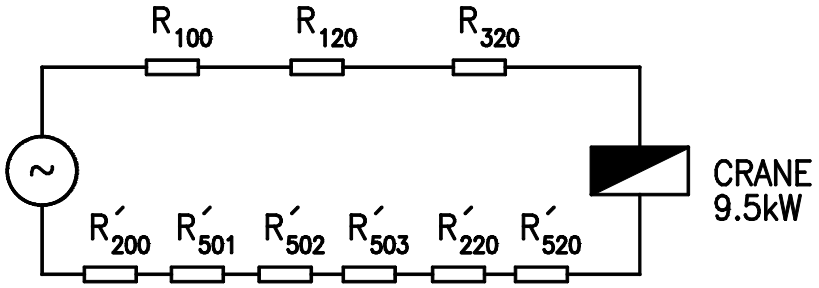
$$A' > \frac{210}{56 \times 0.0476} \Rightarrow A' > 78.78$$

Ground Cable for this Panel $= 1 \times 95 mm^2$

$R'_{240} = 39.5\ m\Omega$

Crane 9.5 kW control panel (at valves room):

MCCB rated Current = 32A
L = 25m



$I_{SC} = 1.25 \times 12 \times 32A = 480A$

$R_{100} = 2.9$	$m\Omega$	$R'_{520} = ?$	$m\Omega$
$R_{120} = 84.6$	$m\Omega$	$R'_{220} = 35.7$	$m\Omega$
$R_{320} = 111.6$	$m\Omega$	$R'_{503} = 30$	$m\Omega$
		$R'_{502} = 22.5$	$m\Omega$
		$R'_{501} = 13.2$	$m\Omega$
		$R'_{200} = 5.6$	$m\Omega$

$$\Sigma R = (R'_{520} + 0.3061)\ m\Omega$$

$$I_{SC} < I_f \Rightarrow 480 < \frac{V\phi}{\Sigma R} \Rightarrow R'_{520} < \frac{220}{480} - 0.3061$$

$$R'_{520} < 152.2\,m\Omega \Rightarrow A' > \frac{L}{X \times R'} \Rightarrow$$

$$A' > \frac{25}{56 \times 0.1522} \Rightarrow A' > 2.93$$

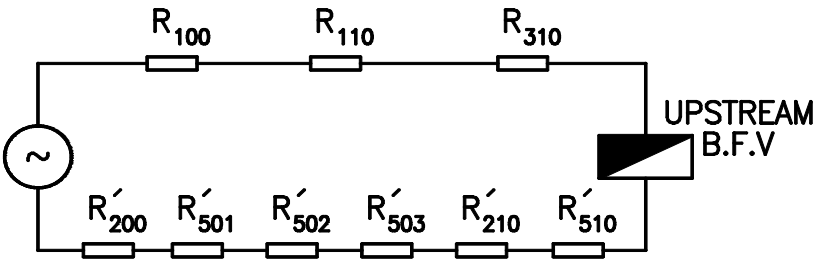
We can use one strand of power Cable. Therefore:

$$\boxed{A' = 4\,mm^2}$$

$R'_{520} = 44.7\ m\Omega$

Upstream B.F.V:

MCCB rated Current = 6A
L = 25m



$I_{SC} = 1.25 \times 12 \times 6A = 90A$

$R_{100} = 2.9$	$m\Omega$	$R'_{510} = ?$	$m\Omega$
$R_{110} = 125$	$m\Omega$	$R'_{210} = 30.6$	$m\Omega$
$R_{310} = 178.6$	$m\Omega$	$R'_{503} = 30$	$m\Omega$
		$R'_{502} = 22.5$	$m\Omega$
		$R'_{501} = 13.2$	$m\Omega$
		$R'_{200} = 5.6$	$m\Omega$

$$\Sigma R = (R'_{510} + 408.4)\ m\Omega$$

$$I_{SC} < I_f \Rightarrow 90 < \frac{V\phi}{\Sigma R} \Rightarrow R'_{520} < \frac{220}{90} - 0.4084$$

$$R'_{520} < 2036\,m\Omega \Rightarrow A' > \frac{L}{X \times R'} \Rightarrow$$

$$A' > \frac{25}{56 \times 2.036} \Rightarrow A' > 0.22$$

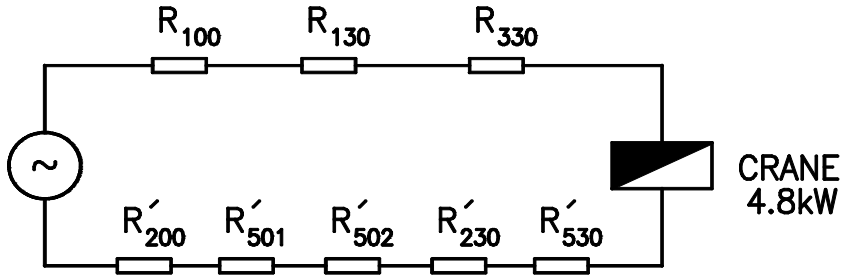
We can use one strand of power Cable. Therefore:

$$\boxed{A' = 2.5\,mm^2}$$

$R'_{510} = 178.6\ m\Omega$

Crane 4.8kW control panel (at middle valve room):

MCCB rated Current = 25A
L = 25m



$I_{SC} = 1.25 \times 12 \times 25A = 375A$

$R_{100} = 2.9$	$m\Omega$	$R'_{530} = ?$	$m\Omega$
$R_{130} = 100.0$	$m\Omega$	$R'_{230} = 45.9$	$m\Omega$
$R_{330} = 178.6$	$m\Omega$	$R'_{502} = 22.5$	$m\Omega$
		$R'_{501} = 13.2$	$m\Omega$
		$R'_{200} = 5.6$	$m\Omega$

$$\Sigma R = (R'_{530} + 368.7)\ m\Omega$$

$$I_{SC} < I_f \Rightarrow 375 < \frac{V\phi}{\Sigma R} \Rightarrow R'_{530} < \frac{220}{375} - 0.3687$$

$$R'_{530} < 218.0 m\Omega \Rightarrow A' > \frac{L}{X \times R'} \Rightarrow$$

$$A' > \frac{25}{56 \times 0.2180} \Rightarrow A' > 2.05$$

We can use one strand of power Cable. Therefore:

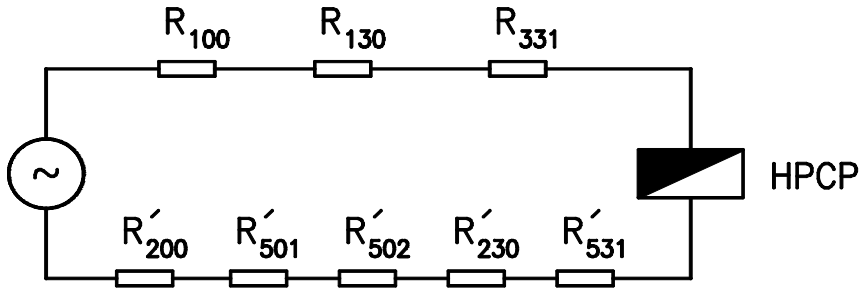
$$\Rightarrow \boxed{A' = 2.5 mm^2}$$

$$R'_{530} < 178.6 m\Omega$$

Hydraulic Pack Control Panel (at middle valve room):

MCCB rated Current = 25A

L = 25m



$I_{SC} = 1.25 \times 12 \times 25A = 375A$

$R_{100} = 2.9$	$m\Omega$	$R'_{531} = ?$	$m\Omega$
$R_{130} = 100.0$	$m\Omega$	$R'_{230} = 45.9$	$m\Omega$
$R_{331} = 178.6$	$m\Omega$	$R'_{502} = 22.5$	$m\Omega$
		$R'_{501} = 13.2$	$m\Omega$
		$R'_{200} = 5.6$	$m\Omega$

$\Sigma R = (R'_{531} + 368.7)\ m\Omega$

$$I_{SC} < I_f \Rightarrow 375 < \frac{V\phi}{\Sigma R} \Rightarrow R'_{531} < \frac{220}{375} - 0.3687$$

$$R'_{531} < 218.0 m\Omega \Rightarrow A' > \frac{L}{X \times R'} \Rightarrow$$

$$A' > \frac{25}{56 \times 0.2180} \Rightarrow A' > 2.05$$

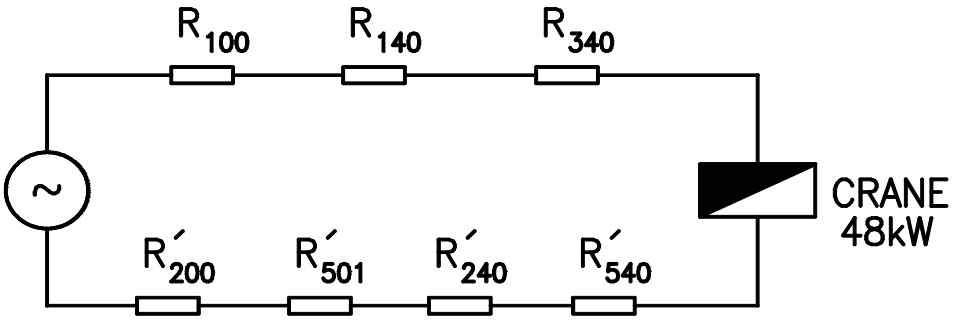
We can use one strand of power Cable. Therefore:

$$\Rightarrow \boxed{A' = 2.5 mm^2}$$

$R'_{531} < 178.6 m\Omega$

Crane 24 kW control Panel (at intake gates room):

MCCB rated Current = 80A
L = 25m



$I_{SC} = 1.25 \times 11 \times 80A = 1100A$

$R_{100} = 2.9$	$m\Omega$	$R'_{540} = ?$	$m\Omega$
$R_{140} = 71.4$	$m\Omega$	$R'_{240} = 39.5$	$m\Omega$
$R_{340} = 27.9$	$m\Omega$	$R'_{501} = 13.2$	$m\Omega$
	$m\Omega$	$R'_{200} = 5.6$	$m\Omega$

$\Sigma R = (R'_{540} + 160.5)\ m\Omega$

$$I_{SC} < I_f \Rightarrow 1100 < \frac{V\phi}{\Sigma R} \Rightarrow R'_{540} < \frac{220}{1100} - 0.1605$$

$$R'_{540} < 39.5 m\Omega \Rightarrow A' > \frac{L}{X \times R'} \Rightarrow$$

$$A' > \frac{25}{56 \times 0.0395} \Rightarrow A' > 1.14$$

We can use one strand of power Cable. Therefore:

$$\Rightarrow \boxed{A' = 16 mm^2}$$

$R'_{540} < 27.9 m\Omega$

پس از انجام محاسبات، کلیه مقاومت‌ها مشخص گردیده و نمای کلی سیستم زمین در نظر گرفته شده در یک صفحه به قطع A3 به پیوست ضمیمه گردیده است.

۳-۳-۳- تعیین مقاومت زمین

همانطور که می‌دانیم میزان مقاومت زمین در محدود ساختن میزان جریان خطایی که از زمین می‌گذرد بسیار مهم است. نیز همچنان که می‌دانیم باید نقطهٔ صفر ژنراتور با یک مقاومت بهینه و مناسب به زمین متصل گردد. برای اثبات این الزام، کافیست روابط مربوط به توالی‌های مختلف جریان را در اتصال کوتاه تکفاز به زمین برای یک تجهیز در نظر بگیریم که این روابط به شکل زیر نوشته می‌شوند:

- برای توالی مثبت، ولتاژ فاز a را می‌توان به شکل زیر نوشت:

$$V_a^+ = E_a - Z^+ I_a^+$$

- برای توالی مثبت، ولتاژ فاز a برابر خواهد بود با:

$$V_a^- = - Z^- I_a^-$$

- به همین ترتیب، توالی صفر را به شکل روبرو خواهیم داشت:

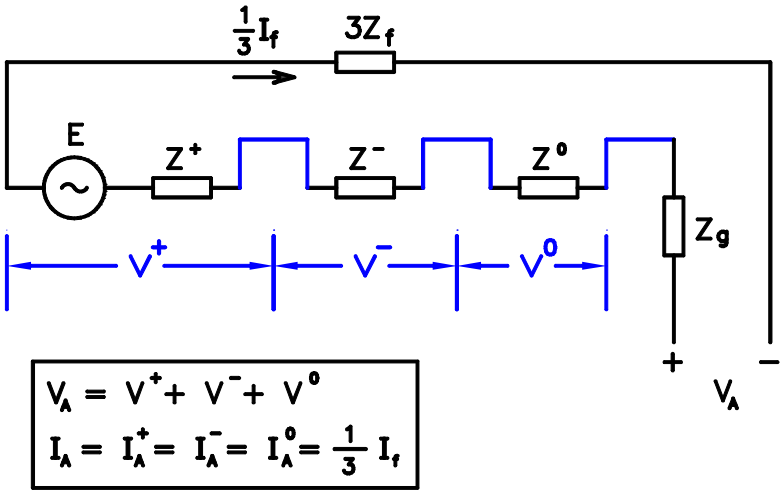
$$V_a^o = - Z^o I_a^o$$

و با توجه به روابط اخیر مدار معادلی مطابق شکل ۳-۲ خواهیم داشت.

این شکل مقاومت بین نقطهٔ صفر ژنراتور و زمین را با $3Zg$ و مقاومت بین نقطهٔ اتصال با زمین را با Z_f نمایش داده است. حال با توجه به مدار معادل می‌توان جریان خطا را به شکل زیر نوشت:

$$I_f = \frac{3E_a}{Z^+ + Z^- + Z^o + 3Z_g + Z_f}$$

روشن است که در میان این پارامترها، تنها Z_g است که در اختیار ماست و ما می‌توانیم آنر ا خودمان تعیین کنیم و بقیه به مدار و شرایط آن بستگی دارند. همچنین بدیهی است که با افزایش Z_g می‌توان جریان I_f را کاهش داد. پس ایده آل‌ترین حالت می‌تواند وقتی باشد که نقطهٔ صفر از زمین ایزوله باشد (یعنی $Z_g = \infty$) در این صورت جراین خطا به صفر میل خواهد کرد.



شکل ۳-۲- مدار معادل اتصالی تکفاز به زمین برای توالی‌های مختلف

پس اگر نقطهٔ صفر ژنراتور به زمین متصل نگردد و در آن حالت خطای اتصالی فاز به زمین اتفاق بیافتد، ولتاژ فازهای سالم می‌تواند تا از اینرو می‌بایست مقاومت زمین تجهیز به‌صورت بهینه انتخاب شود. ولی از جنبهٔ حفاظتی و ایمنی نیز می‌بایست این مقاومت را مدنظر قرار داد. در کتاب تجهیزات نیروگاه[۱] دکتر سلطانی پس از یکسری محاسبه و نیز با در نظر گفتن ماکزیمم ولتاژ مجازی که می‌تواند روی سیم حفاظتی زمین قرار بگیرد، به مقدار ۲ اُهم رسیده است. این مقدار حفاظت جای افراد را در هنگام اتصال و عبور جریان در سیستم‌های توزیع LV، تضمین خواهد کرد. ولی به‌دست آوردن مقاومت ۲ اُهمی بسیار دشورا است و به همین دلیل تا حدود ۵ اُهم نیز قابل قبول خواهد بود. در این پروژه نیز میزان بیشینهٔ مقاومت زمین را همان ۵ اُهم در نظر می‌گیرم و بر همین اساس محاسبه را انجام خواهیم داد.

در پروژه‌های سد سازی به‌دلیل وجود آب فراوان، زمین‌های اطراف، معمولاً مقاومت ویژهٔ مناسبی دارند و در این مکان‌ها می‌توان زمین‌های خاکی نسبتاً مرطوب را

۱- تجهیزات نیروگاه – تالیف دکتر مسعود سلطانی – انتشارات دانشگاه تهران.

برای کوبیدن میله‌های زمین پیدا کرد. از اینرو $\rho=100\Omega m$ فرض می‌کنیم و محاسبات را انجام می‌دهیم تا تعداد میله‌های ارت به‌دست آید.

هر میله ارت از دو عدد میله فولادی به قطر تقریبی ۲ سانتیمتر که با روکشی از مس خالص، به ضخامت ۰/۲۵ میلیمتر پوشیده شده است، تشکیل می‌شود. طول این لوله‌ها حدود ۱/۵ متر است. این دو قسمت توسط یک بخش متصل کننده (کوپلینگ) به هم وصل می‌شوند و به‌صورت عمودی در زمین کوبیده می‌شوند و پس از مستقر شدن در زمین، به‌وسیله سیم‌های ارت به هم متصل می‌شوند. با توجه به اطلاعات فوق، میزان مقاومت میله‌ها را می‌توان با توجه به فرمول زیر محاسبه نمود:

$$R=\frac{\rho}{2\pi h}Ln\left(\frac{4h}{d}\right)$$

در این فرمول h ارتفاع میله و بر حسب متر، d قطر میله و برحسب متر و ρ مقاومت ویژه زمین در ۲۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. پس خواهیم داشت:

$$\begin{cases} h=3 & (m) \\ d=0.02 & (m) \\ \rho=100 & (\Omega.m) \end{cases} \Rightarrow R=34\Omega$$

با این حساب تعداد۷ میله برای ایجاد مقاومت کمتر از ۵ اُهم کفایت می‌کند. پس از کوبیدن این میله‌ها، مقاومت زمین معادل ۴/۸ اهم خواهد شد. فقط باید توجه کرد که فاصلهٔ این میله‌ها از یکدیگر باید حداقل ۲ برابر ارتفاع میله‌ها، یعنی ۶ متر باشد.

۳-۴- سایزینگ رکتیفایر مربوط به سیستم Dc و دیزل ژنراتور

رکتیفایر سیستم dc باید توانایی تامین انرژی الکتریکی مورد نیاز برای روشن ساختن سیگنال‌ها، ابزار دقیق و لوازم اندازه‌گیری را که از جریان مستقیم تغذیه می‌کنند، دارا باشد. از اینرو برای به‌دست آوردن ظرفیت این رکتیفایر می‌بایست میزان مصرف توان این تجهیزات را به‌دست آورد با توجه به سطح ولتاژ خروجی رکتیفایر، ظرفیت جریان دهی آن را محاسبه کرد. در پروژه‌های هیدرومکانیک از رکتیفایر معمولاً در اتاق

کنترل مرکزی و صرفاً برای تابلوی کنترل مرکزی استفاده می‌گردد. ناگفته نماندکه در بعضی از سدها توزیع جریان DC داریم که برای مصارف اضطراری و صدور فرمانهای مهم در هنگام بی‌برقی است و در مدارات فرمان تابلوها و یا تجهیزات دیگر استفاده می‌شوند. صرفنظر از این بخشها فقط تابلوی کنترل مرکزی می‌ماند که باید دائماً و در همه حال روشن باشد پس طبیعی است که مهمترین محل مصرف جریان خروجی رکتیفایر، اتاق کنترل مرکزی خواهد بود. در پروژه‌های هیدرومکانیک، این رکتیفایرها معمولاً ۳ فاز بوده و دارای دامنه خروجی جریان ۳۰ آمپر می‌باشند (درسمت DC). معمولاً این رکتیفایرها در تابلوی باتری شارژ قرار می‌گیرند. در این تابلو به میزان لازم باتری (معمولاً از نوع خشک نیکل کادمیوم[1]) قرار دارد و ظرفیت این باتری‌ها طوری محاسبه می‌شود که حداقل برابر ۲ ساعت خروجی مداوم، در جریان نامی خروجی خود را دارا باشند (یعنی معمولاً بیشتر از ۶۰ آمپر ساعت).

برای سایز کردن دیزل ژنراتور می‌بایست میزان بارهای اضطراری را که در هنگام بی‌برقی سیستم باید توسط دیزل ژنراتور راه‌اندازی شوند، به‌دست آوریم. پس از دستیابی به این میزان و با توجه به نُرم‌های موجود به راحتی می‌توان میزان توان خروجی ژنراتور را به‌دست آورد و ژنراتور مناسب را انتخاب کرد. اما اینکه این بارها چه هستند و بر چه اساس باید به‌عنوان بار اضطراری محسوب گردند، مطالب مهمی است که باید مورد توجه قرار گیرد.

بارهای اضطراری در یک سد عبارتند از:

- ۱۰۰٪ روشنایی‌ها اعم از داخلی، خارجی، خیابانی، محوطه و...
- تجهیزاتی که باید برای مقابله با سیلاب، زلزله، طوفان و... در آماده باش کامل باشند.
- منابع صدور فرمان‌های اضطراری و حیاتی

1 - Ni – Cd.

- و هر بار دیگری که در زمرهٔ این گونه مصارف قرار گیرد.

مطلب مهم دیگر چگونگی توزیع این بار اضطراری است. می‌دانیم که دیزل ژنراتور دارای ظرفیت اسمی کمتری نسبت به ترانس تامین انرژی الکتریکی که به شبکه متصل است، می‌باشد. از اینرو به هنگام قطعی برق باید به میزانی از آن بار کشید تا دچار اضافه بار نشود. اگر خروجی ژنراتور مستقیماً به سیستم توزیع AC وصل گردد ممکن است در صورت کوتاهی و سهل‌انگاری اپراتور، ژنراتور دچار اضافه بار گردد. برای جلوگیری از بروز این اشکال می‌توان باسبار مربوط به بارهای اضطراری را از بارهای عادی جدا کرد و سیستم تعویض تغذیه را طوری طراحی کرد که در هنگام بی‌برقی، علاوه بر وصل دیزل ژنراتور به این باسبار، تغذیه‌های عادی را نیز از این باسبار قطع کند. این حالت بهترین و مطمئن‌ترین حالت است ولی در ایران (تا جایی که اینجانب دیدم) این چنین طراحی نمی‌شود. دلیل آن هم روشن است. نخست اینکه هزینهٔ طراحی این سیستم و پیچیدگی آن بسیار بیشتر از حالت تک باسباره است. دلیل دیگر اینکه در سدها، بزرگترین بارهای مصرفی در حالت اضطراری، همان بارهای روشنایی هستند و از طرفی احتمال وقوع بی‌برقی و حوادث طبیعی (که نیاز به راه‌اندازی کامل تجهیزات اضطراری به‌صورت همزمان را ایجاب کند) در یک زمان پایین است و از همه مهمتر اینکه معمولاً دیزل ژنراتور به‌صورت Over Design طراحی می‌گردد و با توجه به این دلایل احتمال وقوع اضافه بار در دیزل ژنراتور بسیار کم است و شاید طراحان ما به این دلایل خود را درگیر پیچیدگی این طراحی نمی‌کنند و ترجیح می‌دهند تا هزینه اضافه‌ای بپردازند و از این پیچیدگی به دور باشند.

با توجه به بحران انرژی که امروزه در دنیا به‌عنوان مهمترین دغدغه ممالک مختلف مطرح است، امید است که متخصصین و طراحان این مرز و بوم هرچه بیشتر در زمینه صرفه‌جویی در مصرف انرژی بکوشند و طرح‌های خود را بر این اصل استوار گردانند.

انشاء ا...

منابع و ماخذ

۱- تالیف دکتر کلهر، حسن، مهندسی تاسیسات الکتریک، چاپ گلشن.

۲- تالیف دکتر کلهر، حسن، مهندسی روشنایی، چاپ هشتم، ۱۳۷۴، چاپ گلشن

۳- مهندس قربانی، محمد، سیستم‌های توزیع انرژی الکتریکی، چاپ هشتم، ۱۳۷۵، شرکت سهامی انتشار.

۴- جلد اول نشریه شماره ۱-۱۱۰، سازمان برنامه و بودجه، ناشر: سازمان برنامه و بودجه.

5- Auma Corporation, “Manufacturer of electric actuator for much kind of valves”, Available At: http://www.auma.com

6- Direct Industry, “Directory of industrial equipment and technologies”, Available at: htt://www.directindustry.com

7- Encarta Website, “Dictionary of integrated in formation for dams and flood control”, Available At:http://www.encarta.msn.com/encyclopedia_761561327_2____8/Dam.html

8- Erhard Company, “Manuafacturer of many kind of valves”, Available at: http://www.erhard.de.com

9- Photo Library, “A gallery contains a lot of pictures with several categories of equipment”, Avaliable at: http://www.Fotolia.com

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول:

مقدمه ۲

۱-۱- انواع سدها ۳

۱-۱-۱- دسته‌بندی سدها به‌لحاظ شکل و مصالح ساختمانی ۳

۱-۱-۱-۲- سدهای خاکی (خاکریزی): ۴

۱-۱-۱-۳- سدهای قوسی ۶

۱-۱-۱-۴- سدهای پایه‌ای (پشت بنددار) ۷

۱-۲- بخش‌های اساسی یک سد مخزنی ۸

۱-۲-۱- بدنه سد ۸

۱-۲-۲- مسیر انحرافی ۹

۱-۲-۳- مجاری ورودی و آبگیرها ۱۰

۱-۲-۳-۱- مجرای آب شرب ۱۰

۱-۲-۳-۲- مجرای آبیاری کشاورزی ۱۰

۱-۲-۳-۳- مجرای تخلیه‌کننده عمقی (تخلیه‌کننده تحتانی) ۱۱

۱-۲-۳-۴- مجرای ورودی نیروگاه ۱۲

۱-۲-۴- مجاری خروجی ۱۲

۱-۲-۴-۱- مجرای خروجی سیستم آب شرب ۱۲

۱-۲-۴-۲- مجرای خروجی آبیاری کشاورزی ۱۳

۱-۲-۴-۳- مجرای خروجی سیستم تخلیه‌کننده عمقی ۱۳

۱-۲-۴-۴- خروجی نیروگاه ۱۴

۱-۲-۴-۵- خروجی سرریز ۱۴

۱-۳- تجهیزات مربوط به بخشهای مختلف ۱۴

۱-۳-۱- تجهیزات مربوط به ورودی‌ها ۱۴
۱-۳-۱-۱- آشغالگیرها ۱۵
۱-۳-۱-۲- دریچه‌های رأس ۱۶
۱-۳-۱-۳- دهانهٔ شیپوری ۱۷
۱-۳-۱-۴- تبدیل کننده سطح مقطع ۱۸
۱-۳-۱-۵- کاهنده ۱۸
۱-۳-۲- تجهیزات مربوط به خروجی‌ها ۱۸
۱-۳-۲-۱- شیرهای کنترل دبی ۱۸
۱-۳-۲- ۲- دریچه‌های کنترل دبی ۱۹
۱-۳-۲-۳- شیرها و دریچه‌های محافظ ۲۰
۱-۳-۲-۴- دریچه‌های خروجی سرریز ۲۱
۱-۳-۳- محرک‌ها و عملگرهای تجهیزات و انواع آنها ۲۲
۱-۳-۳-۱- عملگرهای برقی ۲۲
۱-۳-۳-۲- عملگرهای هیدرولیکی ۲۳
۱-۴- پارامترهای اساسی تحت کنترل در یک سد ۲۳
۱-۴-۱- سطح آب مخزن ۲۴
۱-۴-۲- گرفتگی آشغالگیر ۲۴
۱-۴-۳- دبی آب در خروجی‌ها ۲۵

فصل دوم:

مقدمه ۲۸
۲-۱- سیستم توزیع انرژی الکتریکی ۲۸
۲-۱-۱- سیستم توزیع انرژی الکتریکی متناوب (AC) ۲۹
۲-۱-۲- سیستم توزیع جریان مستقیم (DC) ۳۰
۲-۲- سیستم تعویض تغذیه ۳۱
۲-۳- سیستم‌های کنترل عملگرهای مختلف ۳۲
۲-۳-۱- سیستم کنترل محرک‌های هیدرولیکی ۳۲

۲-۳-۲- سیستم کنترل عملگرهای برقی شیرآلات ۳۵
۲-۴- سیستم‌های انتقال داده و سیگنال‌های استاندارد ۴۰
۲-۴-۱- سیگنال‌های استاندارد ۴۰
۲-۴-۱-۱- سیگنال‌های آنالوگ ۴۰
۲-۴-۱-۲- سیگنال دیجیتال ۴۱
۲-۴-۲- سیستم‌های ارسال و انتقال اطلاعات ۴۲
۲-۵- سیستم کنترل مرکزی ۴۳

فصل سوم:

مقدمه ۴۸
۳-۱- تعریف یک پروژه فرضی ۴۸
۳-۱-۱- مشخصات گالری‌ها ۴۸
۳-۱-۲- سیستم ورودی‌ها ۵۰
۳-۱-۳- خروجی آب شرب و آبیاری کشاورزی ۵۱
۳-۱-۴- اتاق دریچه‌های تخلیه تحتانی ۵۲
۳-۱-۵- ابزار دقیق گوناگون ۵۳
۳-۱-۶- کنترل‌های مربوط به تجهیزات ۵۶
۳-۱-۷- سیستم کنترل مرکزی ۵۷
۳-۲- طراحی سیستم روشنایی ۵۸
۳-۲-۱- کلیات ۵۸
۳-۲-۲- محاسبات روشنایی ۵۹
۳-۲-۲-۱- محاسبات روشنایی اتاق شیرآلات ۵۹
۳-۲-۲-۲- محاسبات روشنایی اتاق تخلیه تحتانی ۶۱
۳-۲-۲-۳- محاسبات روشنایی اتاق دریچه‌های راس ۶۱
۳-۳- طراحی سیستم قدرت ۶۳
۳-۳-۱- کلیات ۶۳

۳-۳-۲- چگونگی انجام محاسبات افت ولتاژ ۶۵
۳-۳-۲-۱- تعیین مقاطع سیم‌ها و کابل‌ها براساس جریان مجاز (سیستم‌های سه فازه) ۶۵
۳-۳-۲-۱-۱- انتخاب هادی‌ها از نظر شدت جریان مجاز ۶۵
۳-۳-۲-۱-۲- انتخاب هادی‌ها از نظر افت ولتاژ الکتریکی ۶۷
۳-۳-۲-۲- روش کلی محاسبات و تعیین سطح مقطع کابل‌ها و سیم‌ها در مدارات سه فاز ۶۹
۳-۳-۳- محاسبات افت ولتاژ ۷۴
۳-۳- سیستم زمین الکتریکی و حفاظتی ۸۷
۳-۳-۱- کلیات ۸۷
۳-۳-۱-۱- انواع سیستم‌های زمین (از نظر کاربرد) ۸۷
۳-۳-۱-۲- انواع سیستم‌های زمین (از نظر نوع اتصال) ۸۸
۳-۳-۱-۳- طریقه محاسبه سطح مقطع سیم‌های زمین ۸۹
۳-۳-۱-۴- روش‌های محاسبه مقطع سیم زمین ۹۰
۳-۳-۲- محاسبات اتصال کوتاه ۹۱
۳-۳-۳- تعیین مقاومت زمین ۱۰۳
۳-۴- سایزینگ رکیتفایر مربوط به سیستم Dc و دیزل ژنراتور ۱۰۵
منابع و ماخذ ۱۰۸

تشکر و قدردانی

شکر و سپاس خداوند متعال را که درک این لحظه را برایم ممکن ساخت.

انجام این پایان نامه بدون مساعدت اساتید محترم و دوستان ارجمندم غیرممکن بود.

از اینرو از جناب آقای دکتر احمد جلوه مقدم تشکر و قدردانی می‌نمایم. همچنین از کلیه دوستان، همکاران و عزیزانی که در این ارتباط مشوق و یاور من بودند صمیمانه سپاسگزارم.