تاثیر سوء درجه حرارت محیط در کارائی تجهیزات از جمله ترانسفورماتورها

سهراب فاضلی - اسدالله امیدواری نیا
شرکت توزیع نیروی برق استان خوزستان

چکیده :

گرما و درجه حرارت بالا بر روی کار دستگاههای الکتریکی اثرات سوئی داشته و سبب میگردد تا وسایل الکتریکی نتوانند وظیفه خود را بخوبی انجام دهند .

ایران دارای مناطق گرم و خشک بسیاری میباشد و در بخشهای وسیعی از خاک پهناور کشور ما در اکثر ماههای سال دمای هوا بالا میباشد بطوریکه در نیمی از سال درجه حرارت بالای ۴۰ درجه سانتیگراد بوده و در ماههای گرم سال به ۵۰ درجه سانتیگراد نیز میرسد . در این میان اثرات حرارت و دما بر روی قسمتهای حساس وسایل و تجهیزات الکتریکی از اهمیت خاصی برخوردار است .

در این مقاله اثرات درجه حرارت بالای محیط در کاهش راندمان وسایل الکتریکی بخصوص ترانسفورماتورهای توزیع که رقم عمده‌ای از سرمایه‌گذاری در شبکه‌های توزیع را بخود اختصاص میدهد مورد بررسی قرار گرفته و راه حلهای مناسب جهت کاهش این اثرات و افزایش راندمان ترانسفورماتورها از جنبه‌های فنی و اقتصادی مورد تجزیه و تحلیل و بررسی قرار میگیرد .

شرح مقاله :

اصولا " وسایل و تجهیزات الکتریکی برای کار کردن در دمای خاصی طراحی و ساخته میشوند که در صورت افزایش و یا کاهش دما از حد معینی ، کار کردن طبیعی آنها با اختلال روبرو شده و بازدهی حداکثر را نخواهند داشت . با توجه به وسعت کشور ما چند منطقه آب و هوایی در ایران قابل تشخیص میباشد که عمده‌ترین آنها آب و هوای گرم و خشک میباشد که نیمی از کشور ما (بجز منطقه معتدل شمالی و ناحیه کوهستانی) را شامل میشود . از خصوصیات این

مناطق بالا بودن درجه حرارت محیط در بیش از نیمی از سال میباشد . این مناطق استانهای ایلام، خوزستان، بوشهر، هرمزگان، سیستان وبلوچستان وبخشهایی از استانهای یزد، خراسان، کرمان ولرستان را شامل میگردد . در این مناطق در بیش از نیمی از سال دمای هوا بالای ۴۰ درجه سانتیگراد ودر ماههای تیر، مرداد و شهریور به ۵۰ درجه سانتیگراد نیز میرسد . درجه حرارت بالای محیط بر روی کلیه تجهیزات الکتریکی اثرات سوء داشته وباعث کاهش راندمان آنها میگردد . این اثرات بیش از همه بر روی سیم، کابل، موتورهای الکتریکی، کلیدها و ..... وترانسفورماتورهای توزیع وانتقال محسوس میباشد . کاهش بار سیم وکابل، بر اثر بالا بودن دمای محیط اجتناب ناپذیر است وباید هنگام بارگذاری روی آنها ضرایب مربوط به درجه حرارت را در نظر گرفت . در رابطه با موتورهای الکتریکی، کلیدها وتجهیزات شبکه نیز باید نسبت به بهبود عایقهای حرارتی وتخلیه تلفات ایجاد شده بر رسیهای لازم صورت گرفته وجهت طراحی بهینه، آنها متناسب با مناطق گرمسیری اقدام گردد . در مورد ترانسفورماتورها بدلیل اینکه تعداد زیادی از آنها در شبکه های برق مورد استفاده بوده ویکی از تجهیزات اصلی شبکه هستند، باید مورد توجه قرار گیرند . در اینجا بررسی بر روی ترانسفورماتورهای توزیع انجام میگیرد . ترانسفورماتورهای انتقال نیز نیاز به بررسی جداگانه ای دارند . گرچه ترانسفورماتور یکی از ماشینهای الکتریکی است که با راندمان بالا کار میکند، اما وجود تلفات آهنی در هسته (فوکو وهیسترزیس) وتلفات مسی (تلفات بارداری) وسایر تلفات باعث ایجاد گرما در ترانسفورماتور ودر نتیجه بالا رفتن دمای سیم پیچها میگردد . این گرما باید تخلیه گردد تا ترانسفورماتور بتواند بطور طبیعی بکار خود ادامه دهد . اصولا " تبادل حرارت به سه طریق هدایت، جابجائی وتشعشع انجام میگیرد . گرچه ساختمان ترانسفورماتورها ومکانیزم عمل خنک کنندگی در آنها متفاوت است، اما معمولا " تخلیه گرما در ترانسفورماتور با ترکیبی از سه روش فوق انجام میگیرد . هرچه تفاوت دمای محیط وسیم پیچهای ترانس بیشتر باشد، عمل تبادل حرارت وخنک شدگی بهتر انجام میشود . برابر مقررات (U.T.E.) درجه حرارت ماگزیمم ۴۰ درجه سانتیگراد برای محیط پذیرفته شده است . تا این درجه حرارت ترانسفورماتور ظرفیت نامی خود را دارا میباشد ودر صورت افزایش دمای محیط از قدرت ترانسفورماتور کاسته شده وقدرت عملی ترانسفورماتور بر اساس فرمول زیر قابل محاسبه میباشد :

توان عملی = توان نامی × (۴۰ درجه سانتیگراد) / درجه حرارت نامی

در عمل در مناطق گرمسیری هنگام بهره برداری از ترانسفورماتور آن را با یک ظرفیت پائین تر مورد استفاده قرار میدهند که با فرمول مطابقت دارد . جدول (۱) توان عملی ترانسفورماتورهای توزیع وقیمت آنها را در سال ۱۳۷۲ براساس اعلام شرکت ایران ترانسفور نشان میدهد .

ظرفیت نامی ترانس در ۴۰°C KVA	ظرفیت عملی ترانس در ۵۰°C KVA	قیمت یکدستگاه ترانس ۲۰ KV به ریال	قیمت یکدستگاه ترانس ۳۳ KV به ریال
۲۵	۲۰	۱۲۵۷۵۰۰	۱۳۲۳۶۹۰
۵۰	۴۰	۱۶۱۸۳۱۰	۱۷۰۳۴۸۰
۱۰۰	۷۵	۲۲۰۹۱۴۰	۲۳۲۵۴۱۰
۱۲۵	۱۰۰	۲۴۹۶۴۶۰	۲۶۲۷۸۵۰
۱۶۰	۱۲۵	۲۸۰۱۸۸۰	۲۹۴۹۳۵۰
۲۰۰	۱۶۰	۳۲۵۱۷۷۰	۳۴۲۲۹۲۰
۲۵۰	۲۰۰	۳۶۶۲۷۳۰	۳۸۵۵۵۱۰
۳۱۵	۲۵۰	۴۰۵۴۰۷۰	۴۲۶۷۴۴۰
۴۰۰	۳۱۵	۴۸۲۰۴۹۰	۵۰۷۴۲۰۰
۵۰۰	۴۰۰	۷۱۴۵۱۰۰	۷۵۲۱۱۶۰
۶۳۰	۵۰۰	۸۴۶۶۶۹۰	۸۹۱۲۳۱۰
۸۰۰	۶۳۰	۹۹۱۰۰۶۰	۱۰۴۳۱۶۴۰
۱۰۰۰	۸۰۰	۱۱۷۲۷۰۱۰	۱۲۳۴۴۲۲۰
۱۲۵۰	۱۰۰۰	۱۳۷۷۹۹۲۰	۱۴۵۰۵۱۸۰
۱۶۰۰	۱۲۵۰	۱۶۴۳۴۹۵۰	۱۷۲۹۹۹۵۰
۲۰۰۰	۱۶۰۰	۲۰۰۹۹۳۲۰	۲۱۱۵۷۱۸۰

جـدول (۱)

به‌عبارت دیگر تنها از حدود ۸۰ درصد توان نامی ترانسفورماتورهای منصوبه استفاده میگردد .

درکشور ما بیش از ۱۲۰۰۰۰ دستگاه ترانسفورماتور در شبکه‌های توزیع وجود دارد که باتوجه به وسعت مناطق گرمسیری تعداد قابل توجهی از آنها در این مناطق نصب گردیده است . تنها در شبکه‌های توزیع استان خوزستان تا پایان شهریور ماه ۱۳۷۲ تعداد ۱۴۰۳۱ دستگاه ترانسفورماتور توزیع با ظرفیت عملی ۳۵۴۳۷۶۸ کیلوولت آمپر نصب شده است . میانگین ظرفیت ترانسهای مورد استفاده ۲۵۲ کیلوولت آمپر میباشد . درصورتیکه امکان بهره برداری از قدرت نامی ترانس وجود داشته باشد، بطور متوسط هر ترانس دارای قدرتی معادل ۳۱۵ کیلو ولت آمپر خواهد بود که در این صورت :

کیلوولت آمپر ۱۴۰۳۱×۳۱۵=۴۴۱۹۷۶۹

کیلوولت آمپر ۴۴۱۹۷۶۹ـ ۳۵۴۳۷۶۸=۸۷۶۰۰۱

یعنی در شرایط فعلی از ۸۷۶ مگاولت آمپر ظرفیت منصوبه استفاده نمی گردد که معادل ۶/۵ برابر کل ترانسهای خریداری شده توسط شرکت توزیع نیروی برق استان خوزستان در سال ۱۳۷۲ میباشد . تعداد ومشخصات ترانسها ومیزان قرارداد مذکور در جدول (۲) نشان داده شده است .

ظرفیت نامی یکدستگاه KVA	ظرفیت عملی یکدستگاه KVA	تعداد	ظرفیت نامی کل KVA	ظرفیت عملی کل KVA
۵۰	۴۰	۳۰	۱۵۰۰	۱۲۰۰
۱۲۵	۱۰۰	۳۰	۳۷۵۰	۳۰۰۰
۲۵۰	۲۰۰	۲۰	۵۰۰۰	۴۰۰۰
۴۰۰	۳۱۵	۱۰۴	۴۱۶۰۰	۳۲۷۶۰
۵۰۰	۴۰۰	۲۳۰	۱۱۵۰۰۰	۹۲۰۰۰
جمع		۴۱۴	۱۶۶۸۵۰	۱۳۳۹۶۰
مبلغ کل قرارداد : ۲۴۹ر۶۲۳ر۱۰۰/- ریال				

جدول (۲)

باتوجه به جدول فوق هزینه ، قدرت خریداری شده براساس ظرفیت نامی برابر ۱۴۹۶۰ ریال به ازاء یک کیلوولت آمپر و براساس ظرفیت عملی ترانس برابر ۱۸۷۷۴ ریال به ازاء هر کیلوولت آمپر میباشد . یعنی هزینه قدرت خریداری شده بدلیل گرمسیری بودن منطقه در هر کیلوولت آمپر ۳۸۱۴ ریال گرانتر از سایر مناطق میباشد .

باتوجه به بالا بودن چگالی بار در مناطق گرمسیری بدلیل استفاده از وسایل سرمازا وباتوجه باینکه معمولا " بیک بار این مناطق در ساعات گرم روز میباشد ، محدودیت استفاده از ظرفیت ترانس مشکلات فراوانی بهمراه خواهد داشت .

۱- بررسی کاهش اثرات دمای محیط برروی ترانسفورماتور

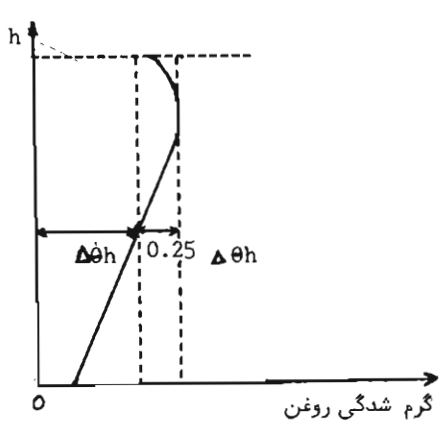
برای اینکه استفاده از ظرفیت نامی ترانسفورماتور امکان پذیر باشد ، باید یا دمای محیط را پائین آورد و یا نسبت به کاهش دمای سیم پیچهای ترانسفورماتور از طریق ایجاد تغییرات لازم در ترانسفورماتور اقدام نمود . در اینجا هریک از این روشها را بطور مختصر مورد بررسی قرار میدهیم .

۱-۱- کاهش دمای محیط:

بمنظور بهبود شرایط خنک شوندگی ترانس باید اختلاف دمای محیط خنک کننده و سیم پیچ ترانسفورماتور را افزایش داد ، یعنی در صورت امکان باید دمای محیط را پائین آورد . در پست های هوائی که ترانسفورماتور بر روی پایه و در فضای باز نصب میشود ، بر اثر تابش مستقیم نور آفتاب درجه حرارت چندین درجه سانتیگراد از سایه بیشتر است . در بررسیهای بعمل آمده در یک روز تابستان در شهر اهواز که دمای هوا در سایه برابر ۴۹/۶ درجه سانتیگراد بوده است ، درجه حرارت در آفتاب برابر ۸۶/۶ درجه سانتیگراد بوده است .

یکی از دلایل خنک شدن ترانسفورماتور این است که هنگامیکه روغن گرم میشود ، بر اثر افزایش حجم و کاهش چگالی آن بطرف بالای ظرف ترانسفورماتور صعود نموده و گرمای خود را به جدار ترانس داده و خنک میشود .

در شکل (۱) منحنی گرم شدگی روغن براساس ارتفاع ترانس نشان داده شده است .



شکل (۱)

بطوریکه ملاحظه میگردد گرمای روغن در قسمت فوقانی ترانس حدود ۲۵ درصد بیش از گرمای متوسط روغن است . باتوجه بمطالب فوق درصورتیکه امکان نصب سایه بانی برای ترانسفورماتور وجود داشته باشد که بتواند حداقل قسمتهای فوقانی ترانسفورماتور را در ساعات گرم روز از تابش مستقیم آفتاب محفوظ نگاه دارد، میتواند به میزان زیادی به پائین آوردن دمای ترانسفورماتور کمک نماید . در این رابطه میتوان صفحه ای با رنگ روشن بر روی ترانس و در قسمت بالای آن نصب نمود بطوریکه هوا بتواند براحتی از روی ترانس عبور نماید در عین حال از تابش مستقیم آفتاب نیز جلوگیری نماید . البته لازم است بوشینگ ترانس را کمی بلند تر انتخاب نموده و تغییراتی در نصب تجهیزات روی ترانس انجام گیرد .

در پستهای سرپوشیده بدلیل در امان بودن ترانسفورماتور از تابش مستقیم نور آفتاب ، منظور فوق تا حدی تامین شده و در صورتیکه مسائل مربوط به تهویه طبیعی و یا اجباری پستها رعایت گردد، میتواند در کاهش دمای محیط موثر باشد .

۲-۱- بهبود کلاس عایقی ترانس :

کلاس عایقی ترانسفورماتورهای توزیع کلاس A میباشد که سیم پیچ میتواند تا ۱۰۵ درجه سانتیگراد گرم شود . درحالیکه کلاسهای عایقی بالاتر قادر به تحمل درجه حرارت های بالاتری هستند لازم است در مورد بهبود کلاس عایقی ترانسفورماتور مطالعات لازم صورت گیرد تا در صورت امکان تحمل دمای سیم پیچ های ترانس افزایش داده شود .

۳-۱- بهبود انتقال حرارت :

انتقال گرما از بدنه ، ترانس به محیط بر اثر هدایت صورت میگیرد . درصورتیکه جنس بدنه ، ترانس از فلزاتی که دارای ضریب هدایت بالا هستند انتخاب شود، میتوان به تخلیه ، حرارت ایجاد شده سرعت بخشید .

۴-۱- تغییر رنگ ترانسفورماتور :

برای رنگ آمیزی ترانسفورماتورها معمولا " از رنگهای زیتونی تیره استفاده میگردد که باتوجه به بالا بودن ضریب جذب رنگهای تیره، باعث جذب حرارت خورشید و بالا رفتن دمای بدنه ترانس میگردد . درصورتیکه از رنگهای روشن مانند رنگ آلومینیومی که دارای ضریب جذب ۰/۵۵ میباشد استفاده گردد، دمای بدنه ترانس کاهش پیدا نموده و باعث میگردد تا حرارت درون ترانسفورماتور سریعتر تخلیه گردیده و به محیط داده شود . بررسیهای بعمل آمده نشان میدهد با تغییر رنگ یکدستگاه ترانسفورماتور از رنگ زیتونی برنگ روشن، در شرایط یکسان بارگیری حدود ۶ درجه سانتیگراد از دمای ترانسفورماتور کاسته میگردد .

۵-۱- افزایش سطح خنک‌کننده :

تخلیه حرارت از سیم‌پیچهای ترانسفورماتور عمدتا" بدوطریق جابجایی وتشعشع صورت میگیرد ۰ براساس فرمول تجربی درخنک کردن به روش طبیعی از طریق تشعشع $6W/M^2/^oC$ واز طریق جابجائی $6/5\ W/M^2/^oC$ تلفات حرارتی بخارج از ترانس انتقال پیدا کند ، یعنی مجموعا " ۱۲/۵ وات تلفات حرارتی به ازاء یک درجه سانتیگراد درواحد سطح میتواند به طریق طبیعی رفع شود ۰ بنابراین مقدار حرارات انتقال داده شده به بیرون برای یک ترانسفورماتور با سطح St برابر است با :

$$(6+6/5) \cdot St \quad W/M^2/^oC$$

ودرصورتیکه سطح تبادل حرارتی ترانس را با اضافه کردن رادیاتور یا لوله های خنک‌کن اضافه نمائیم مقدار کل تلفات تخلیه شده برابر با رابطه زیر میباشد :

$$12/5\ St + 8/78\ (X - 1)\ St$$

بعبارت دیگر بدون اینکه حجم تانک اصلی ترانس افزایش پیدا نماید یا اینکه افزایش قابل ملاحظه‌ای در حجم روغن صورت گیرد میتوان با افزایش رادیاتور شوفاژ یا تعبیه ۰ لوله های خنک‌کن اضافی کارتبادل حرارت وتخلیه گرمای ایجاد شده را سرعت بخشید ۰

معمولا " ترانسفورماتورهای تا ۱۵۰۰ کیلوولت آمپر را با رادیاتورهای موج دار وقدرتهای بالاتر را با رادیاتورهای لوله‌ای میسازند ۰ درصورت استفاده از لوله بمنظور خنک‌کنندگی از لوله‌های با قطر ۴۵ تا ۵۰ میلیمتر استفاده میشود که باتوجه بقدرت ترانس ودمای محیط ، نیاز بسطح خنک‌شونده مشخص شده وبا استفاده از فرمولهای مربوطه تعداد لوله‌های مورد نیاز قابل محاسبه میباشد ۰

۲- بررسی اقتصادی :

درصورتیکه حداقل ۱/۳ ترانسهای توزیع مربوط به مناطق گرمسیری باشد، حدود ۴۰۰۰۰ دستگاه ترانسفورماتور در این مناطق نصب شده است درصورتیکه میانگین ظرفیت عملی ترانسفورماتورها را ۲۵۰ کیلوولت آمپر درنظر بگیریم، میانگین ظرفیت نامی آنها برابر ۳۱۵ کیلوولت آمپر خواهد بود که در این صورت داریم :

ظرفیت نامی منصوبه بر حسب مگاولت آمپر $= 12600$ کیلوولت آمپر $= 126 \times 10^5 = 40000 \times 315$

ظرفیت عملی منصوبه مگاولت آمپر $= 10000$ کیلوولت آمپر $= 10^7 = 40000 \times 250$

ظرفیت استفاده نشده ، منصوبه برابر ۲۶۰۰ مگاولت آمپر میباشد ۰ براساس نرخهای ایران ترانسفور وباتوجه باینکه در شبکه‌های توزیع (بخصوص در شبکه‌های توزیع هوائی) عمدتا " از ترانسهای با ظرفیت پائین ومتوسط استفاده میشود، میانگین قیمت خرید یک کیلووات ظرفیت نامی ترانس حدود ۱۵۰۰ ریال

میباشد. درنتیجه خواهیم داشت :

ریال $۲۶\times۱۰^{۵}\times۱۵۰۰۰=۳۹\times۱۰^{۹}$

بعبارت دیگر چنانچه امکان استفاده از ۲۶۰۰ مگاولت آمپر ظرفیت منصوبه، بلااستفاده وجود داشت مبلغ سی ونه میلیارد ریال در سرمایه گذاری جهت نصب ترانس در سالهای آتی صرفه جوئی می شد.

حال چنانچه نیاز سالیانه مناطق گرمسیری به ترانسهای توزیع را دوهزار دستگاه ترانس با قدرت متوسط ۳۱۵ کیلوولت آمپر درنظر بگیریم، درصورتیکه امکان استفاده از ظرفیت نامی ترانس وجود داشته باشد، میزان سرمایه گذاری لازم جهت خرید ترانس مورد نیاز سالیانه برابر است با :

مگاولت آمپر ۶۳۰=کیلوولت آمپر $۲۰۰۰\times۳۱۵=۶۳\times۱۰^{۴}$

ریال $۶۳۰۰۰۰\times۱۵۰۰۰=۹۴۵\times۱۰^{۷}$

وچنانچه امکان استفاده از ظرفیت نامی وجود نداشته باشد آنگاه

$۶۳۰۰۰۰ \div ۲۵۰ = ۲۵۲۰$

یعنی باید ۲۵۲۰ دستگاه ترانس با ظرفیت میانگین ۳۱۵ کیلوولت آمپر خریداری گردد وهریك از آنها بعنوان ترانس ۲۵۰ کیلوولت آمپر مورد استفاده قرار گیرد تا ظرفیت مورد نیاز تامین شود. دراین صورت میزان سرمایه گذاری لازم برابر است با :

کیلوولت آمپر $۲۵۲۰\times۳۱۵=۷۹۳۸۰۰$

ریال $۷۹۳۸۰۰\times۱۵۰۰۰=۱۱۹۰۷\times۱۰^{۶}$

وبامقایسه، هزینه ها در دوحالت فوق مشخص میگردد که شرکت های توزیع نیرو یا بعبارت صحیح تر صنعت برق باید سالانه مبلغ دومیلیارد وچهارصدوپنجاه وهفت میلیون ریال هزینه اضافی بابت کاهش ظرفیت ترانس بپردازند واین درصورتی است که نرخ ترانس ثابت مانده وقیمت ها درآینده افزایش پیدا نکند. باید به مبالغ فوق هزینه های انرژی فروخته نشده، قطعی برق براثر کمبود ظرفیت، خسارات وارده به شبکه وهزینه های عملیاتی را نیز اضافه نمود. تنها شرکت توزیع نیروی برق استان خوزستان در سال ۱۳۷۲ باتوجه بمندرجات جدول (۲) مبلغ ۵۰۷۱۰۹۴۴۰ ریال هزینه، اضافی بابت عدم استفاده از ظرفیت نامی ترانس پرداخت نموده است.

درصورتیکه با سرمایه گذاری اندك امکان حل این مشکل وجود دارد.

تغییر رنگ ترانسفورماتور بجز مسائل تحقیقاتی مربوط بدان هزینه، خاصی در برنداشته وبسهولت امکان پذیر است.

افـزایـش سطح خنك كننده وسایرمواردنیزبااختصاص هزینه‌های تحقیقاتی وعملیاتی امکان پذیـر بوده‌ودرمقایسه بازیانهای ناشی از کاهش ظرفیت ترانس مقرون بصرفه میباشد ۰

نتیجه :

باتوجه بهبررسیهای فنی و اقتصادی انجام شده ونظربه‌اینکه بخش وسیعی ازکشورمـا رامناطق گرمسیری تشکیل میدهد، لازم است بمنظوربهره‌برداری ازظرفیت کامل ترانسفورماتـور تغییراتی متناسب بامناطق گرمسیری درترانسفورماتورهای توزیع ایجادگردد ۰ هریك ازروشهای پیشنهادی میتواندمنجربه‌کاهش دمای سیم پیچهای ترانسفورماتورشودکه درنتیجه امکان استفاده ازظرفیت نامی ترانسفورماتورفراهم شده وباعث صرفه جوئی اقتصادی و جلوگیری از هدررفتـن هزینه میگردد ۰ بمنظوربه نتیجه رسیدن این مسئله لازم است شرکتهای برق منطقـــــه‌ای ، شرکتهای توزیع نیروو‌کارخانه ایران ترانسفو همکاری نزدیکی داشته‌باشند۰

منابع :

۱ ـ مجموعه مقالات سومین کنفرانس توزیع نیروی برق ـ اردیبهشت ۱۳۷۲ شیـــــراز

۲ ـ ترانسفورماتور ـ جلددوم ـ دکترعلی مطلبـــــی

۳ ـ آماروگزارشات شبکه‌های توزیع استان خوزســـتان