بسم الله الرحمن الرحيم

مدیریت تحصیلات تکمیلی

تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب **محمد خیاط** متعهد می شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب بوده و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آن استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و مأخذ ذکر گردیده است. این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است. در صورت اثبات تخلف (در هر زمان) مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از اعتبار ساقط خواهد شد.

کلیه حقوق مادی و معنوی اثر متعلق به دانشگاه شهید رجایی می‌باشد.

محمد خیاط

تهران – لویزان –کدپستی ۱۶۷۸۸-صندوق پستی ۱۶۳-۱۶۷۸۵ تلفن ۹-۲۲۹۷۰۰۶۰
(داخلی ۲۳۴۷)نمابر ۲۲۹۷۰۰۱۱ پست الکترونیک sru@sru.ac.ir

دانشکده مهندسی مکانیک

مدل‌سازی جریان و انتقال حرارت در اتاقک‌های ترانسفورماتورهای شبکه توزیع برق به منظور استخراج شرایط مناسب

نگارش

محمد خیاط

استاد راهنما : دکتر سید مصطفی حسینعلی‌پور

استاد مشاور: دکتر محمدرضا علیگودرز

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی مکانیک– تبدیل انرژی

بهمن ۱۳۸۹

تأییدیّه هیات داوران

تقدیم به

تحقق این پژوهش را اگر منزلتی باشد، بی دریغ نثار ،

پدر و مادر عزیزم

و

همسر مهربانم

می‌نمایم.

قدردانی و تشکر

بدینوسیله نهایت سپاس و امتنان خود را از استاد محترم و دلسوزم جناب آقای **دکتر سید مصطفی حسینعلی‌پور** ، که در تمامی مراحل انجام این پایان‌نامه مرا یاری فرموده و در این راه از هیچ کمکی دریغ ننمودند، اعلام می‌دارم. همچنین از زحمات و تلاش‌های اساتید بزرگوار جناب آقای **دکتر محمدرضا علیگودرز** و جناب آقای **دکتر کامران مبینی** که در نهایت تواضع و فروتنی پاسخگوی سوالات اینجانب و همچنین مشوق و یاور من در انجام پروژه بودند نهایت تشکر و قدردانی را داشته، و نیز از زحمات بی شائبهٔ **مهندس امیر راجا** و مهندس فریدون محمدی که مرا در انجام این پژوهش یاری نمودند، تشکر و قدردانی نموده و سلامتی و توفیق روزافزون را از خداوند منّان برایشان آرزومندم.

چکیده

ترانسفورماتورهای قدرت یکی از تجهیزات مهم موجود در سیستم های قدرت بوده بطوری که عملکرد صحیح آنها نقش مهمی در تامین قابلیت اطمینان این سیستم ها ایفاء می نماید. با توجه به اتصال دائم ترانسفورماتورها به شبکه توزیع و انتقال، هر نوع اقدام در جهت افزایش عمر آنها باعث بهبود در عملکرد سیستم‌های قدرت شده و از نظر اقتصادی صرفه جویی‌های قابل توجهی را در پی خواهد داشت. درجه حرارت عملکرد ترانسفورماتورها بعنوان یکی از اصلی‌ترین شاخص‌های طول عمر آنها می‌باشد که بطور مستقیم یا غیر مستقیم تحت تاثیر دمای محیط و فضای نصب ترانس خواهد بود. افزایش دما از شرایط استاندارد می‌تواند تاثیر زیادی در کاهش عمر ترانس داشته باشد و حتی موجب تخریب آن گردد. در این پروژه از سه مدل پست به منظور دستیابی به شرایط مطلوب تهویه ترانس،که دمای سطوح آن نباید از $95^{\circ}c$ بیشتر شود، استفاده شده است. دراین مدل‌ها از حل همزمان معادلات بقاء جرم و ممنتوم و انرژی توسط نرم افزار Fluent استفاده شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که ابعاد پست و جانمایی دریچه‌های ورودی و خروجی تأثیر مهمی در تهویه ترانس دارد. اگر دریچه‌های ورودی در ضلع شمالی و زیرزمین و دریچه‌ی خروجی در ضلع جنوبی اتاق قرار داشته باشند، دمای ترانس به حالت استاندارد می‌رسد. همچنین استفاده از هود موجب شده که شرایط کارکرد ترانس بهبود یابد و عمر عایق ترانس و نهایتاً عمر ترانس افزایش پیدا کند. در ضمن بزرگ شدن ابعاد اتاق موجب کاهش تهویه ترانس می-شود، بطوری که حتی با افزایش ظرفیت فن خروجی نیز بهبودی در تهویه ترانس ایجاد نمی‌شود.

واژه‌های کلیدی: اتاق ترانسفورماتور، دینامیک سیالات محاسباتی، توزیع دما، تهویه‌ی اجباری

فهرست مطالب

عنوان صفحه

چکیده ..... د
فهرست مطالب ..... ه
فهرست جداول ..... ز
فهرست اشکال ..... ح
فهرست علائم اختصاری ..... ل

فصل۱ ..... ۱

۱-۱. مقدمه ۲
۱-۲. شرایط کارکرد ۹
۱-۳. اجزای پست برق ۱۰
۱-۴. موضوع و روش تحقیق ۱۱

فصل۲ ..... ۱۲

۲-۱. مروری بر تحقیقات انجام شده ۱۳

فصل۳ ..... ۲۷

۳-۱. معادلات حاکم بر جریان هوا ۲۸
۳-۱-۱. بقای جرم و ممنتوم ۲۸
۳-۱-۲. معادله‌ی انرژی ۲۸
۳-۱-۳. جریان مغشوش ۲۹
۳-۱-۴. معادلات جریان متلاطم- بقای جرم ۳۰
۳-۱-۵. معادلات جریان متلاطم- ممنتوم ۳۱
۳-۱-۶. مدل‌های توربولانس ۳۲
۳-۱-۷. مدل اغتشاش $k-\varepsilon$ ۳۲
۳-۱-۸. بررسی اعتبار روش $k-\varepsilon$ ۳۴
۳-۱-۹. اهمیت مدل رینولدز پایین ۳۴

فصل۴ ..... ۳۸

۴-۱. مقدمه ۳۹
۴-۲. معتبرسازی ۳۹
۴-۳. مدل پست اول- حالت اول ۴۴
۴-۳-۱. شرایط طرح ۴۸
۴-۴. مدل پست اول- حالت دوم ۵۴

۴-۵. پست اول-حالت سوم ۵۵
۴-۶. پست دوم-حالت اول ۵۶
۴-۷. پست دوم-حالت دوم ۵۷
۴-۸. پست دوم-حالت سوم ۵۸
۴-۹. پست سوم-حالت اول ۵۸
۴-۱۰. پست سوم-حالت دوم ۵۹
۴-۱۱. پست سوم-حالت سوم ۶۰

فصل ۵ ..... ۶۲

۵-۱. مقدمه ۶۳
۵-۲. بررسی نمودارها و نتیجه‌گیری مدل‌های پست اول ۶۳
۵-۲-۱. بررسی مدل پست اول-حالت اول ۶۴
۵-۲-۲. بررسی مدل پست اول-حالت دوم ۷۱
۵-۲-۳. بررسی مدل پست اول-حالت سوم ۷۹
۵-۲-۴. جمع بندی پست اول ۸۷
۵-۳. بررسی نمودارها و نتیجه‌گیری مدل‌های پست دوم ۸۸
۵-۳-۱. بررسی مدل پست دوم-حالت اول ۸۹
۵-۳-۲. بررسی مدل پست دوم-حالت دوم ۹۷
۵-۳-۳. بررسی مدل پست دوم-حالت سوم ۱۰۵
۵-۳-۴ جمع بندی پست دوم ۱۱۲
۵-۴. بررسی نمودارها و نتیجه‌گیری مدل‌های پست سوم ۱۱۴
۵-۴-۱. بررسی مدل پست سوم-حالت اول ۱۱۴
۵-۴-۲. بررسی مدل پست سوم-حالت دوم(بررسی اثر هود) ۱۲۱
۵-۴-۳. بررسی مدل پست سوم-حالت سوم ۱۲۷
۵-۴-۴. جمع بندی پست سوم ۱۳۲
۵-۵. نتیجه‌گیری ۱۳۳
پیوست ۱ ..... ۱۳۶
فهرست مقالات ارایه شده ۱۳۷
منابع و مآخذ ۱۳۸

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

فصل۱ ..... ۱

فصل۲ ..... ۱۲

جدول۲-۱ . مشخصات اتاق و تعداد دریچه‌ها در مدل موراکامی ۱۳
جدول۲-۲. نحوه چیدمان دریچه‌ها در مدل اسپیلتر ۱۶
جدول۲-۳. ابعاد ورودی و خروجی‌ها در تحقیق اسپیلتر ۱۶
جدول۲-۴. شرایط مرزی دریچه‌ها در آزمایشات اسپیلتر ۱۷
جدول۲-۵. شرایط مختلف آزمایش در تحقیق آوابی ۱۸
جدول۲-۶. شرایط مختلف مطالعاتی در تحقیق باشکایا واکن ۲۱
جدول۲-۷. شرایط مرزی مربوط به حالت‌های مختلف مدلسازی در تحقیق کونگ ۲۲

فصل۳ ..... ۲۷

جدول۳-۱. مقادیر تجربی در معادلات $k-\varepsilon$ ۳۳
جدول۳-۲. مقادیر ثابت تجربی برای سه مدل معمولی و رایج روش اعداد رینولدز پایین ۳۷

فصل۴ ..... ۳۸

جدول۴-۱. شرایط مرزی بکار رفته در دیواره‌ها و دریچه‌ی ورودی و خروجی در تحقیق پیتاراما ۴۱
جدول۴-۲. مشخصات ترانسفورماتور استفاده شده در پروژه ۵۱
جدول۴-۳. ابعاد اصلی ترانسفورماتور ۵۲

فصل۵ ..... ۶۲

جدول۵-۱. میانگین و حداکثر دمای هر سطح ترانس در پست اول-حالت اول ۷۱
جدول۵-۲. میانگین و حداکثر دمای هر سطح ترانس در پست اول-حالت دوم ۷۸
جدول۵-۳. میانگین و حداکثر دمای سطوح ترانس در پست اول-حالت سوم ۸۶
جدول۵-۴. متوسط دمای هوای خروجی و درصد دمای هوای کمتر از $40^{\circ}c$ برای مدلهای پست اول ۸۷
جدول۵-۵. حداکثر دما در هر سطح از مدل‌های پست اول ۸۷
جدول۵-۶. میانگین و حداکثر دمای سطوح ترانس در پست دوم-حالت اول ۹۶
جدول۵-۷. میانگین و حداکثر دمای سطوح ترانس در پست دوم-حالت دوم ۱۰۴
جدول۵-۸. میانگین و حداکثر دماهای سطوح ترانس در پست دوم-حالت سوم ۱۱۲
جدول۵-۹. متوسط دمای هوای خروجی و درصد دمای هوای کمتر از $40^{\circ}c$ برای مدل‌های پست دوم ۱۱۲
جدول۵-۱۰. حداکثر دما در هر سطح از مدل‌های پست دوم ۱۱۳
جدول۵-۱۱. میانگین دماهای سطوح ترانس در پست سوم-حالت اول ۱۲۰
جدول۵-۱۲. میانگین و حداکثر دماهای سطوح ترانس پست سوم-حالت دوم ۱۲۶
جدول۵-۱۳. میانگین دماهای سطوح ترانس در پست سوم-حالت سوم ۱۳۲
جدول۵-۱۴. متوسط دمای هوای خروجی و درصد دمای هوای کمتر از $40^{\circ}c$ برای مدل‌های پست سوم ۱۳۲
جدول۵-۱۵. حداکثر دما در هر سطح از مدل‌های پست سوم ۱۳۳

فهرست اشکال

عنوان صفحه

فصل۱..... ۱

شکل۱-۱. چند نمونه از حالت تهویه. A) تهویه ساده پست. B) استفاده از هود برای تهویه فضای پست. C) استفاده از سقف کاذب برای تهویه. D) تهویه‌ی پست با استفاده از سیستم خنک کننده[۶]..... ۵
شکل۱-۲. جریان پیستونی[۷]..... ۷
شکل۱-۳. جریان ترکیبی[۷]..... ۷
شکل۱-۴. جریان جابجایی[۷]..... ۸
شکل۱-۵. نمودار توزیع اتلاف حرارتی موجود در یک پست توزیع[۹]..... ۱۰

فصل۲..... ۱۲

شکل۲-۱. محل قرارگیری دریچه‌های و ورودی خروجی در مدلسازی موراکامی[۱۰]..... ۱۴
شکل۲-۲. محل قرارگیری دریچه‌های ورودی و خروجی در مدل اسپیلتر[۱۲]..... ۱۵
شکل۲-۳. نمونه مدلسازی شده انسان در مدل آزمایشگاهی آوبی[۱۴]..... ۱۸
شکل۲-۴. هندسه اتاق آزمایشی به همراه محل قرارگیری سنسورها در تحقیق بیجرگ[۱۵]..... ۲۰
شکل۲-۵. محل قرارگیری دریچه‌ها در حالت‌های مختلف در تحقیق باشکایا و اکن[۱۶]..... ۲۱
شکل۲-۶. هندسه‌ی مربوط به تحقیق کونگ[۱۷]..... ۲۲
شکل۲-۷. هندسه‌ی اتاق به همراه محل قرارگیری دریچه‌ها و منابع حرارتی در تحقیق ستامو و کاتسیر[۱۸]..... ۲۳
شکل۲-۸. منحنی‌های دما و بردارهای سرعت در صفحه YZ مرکزی:(A) مدل $k-\omega$ SST،(B) مدل $k-\varepsilon$ استاندارد،(C) مدل $k-\varepsilon$ RNG،(B) مدل لامینار[۱۸]..... ۲۴
شکل۲-۹. روند سرعت عمودی در نقطه تنظیم شده:(A) مدل $k-\omega$ SST،(B) مدل $k-\varepsilon$ استاندارد،(C) مدل RNG $k-\varepsilon$،(B) مدل لامینار[۱۸]..... ۲۵

فصل۳..... ۲۷

فصل۴..... ۳۸

شکل۴-۱. ابعاد و محل قرارگیری دریچه‌های ورودی و خروجی در تحقیق پیتاراما[۲۲]..... ۴۰
شکل۴-۲. شبکه بندی خشن مدل با شبکه ساختاریافته..... ۴۲
شکل۴-۳. شبکه‌بندی ریز مدل با شبکه ساختاریافته..... ۴۲
شکل۴-۴. شکل نمودار بدست آمده از حل عددی و تحقیق پیتاراما و تحقیق حاضر..... ۴۳
شکل۴-۵. نمای شماتیک اتاق و محل قرارگیری دریچه‌ها در مدل پست اول حالت اول..... ۴۴
شکل۴-۶. ترانسفورماتور مدل شده در این تحقیق..... ۴۵
شکل۴-۷. نحوه مش‌بندی بر روی ترانسفورماتور..... ۴۶
شکل۴-۸. شبکه بندی در پست اول-حالت اول..... ۴۷
شکل۴-۹. ابعاد کلی ترانسفورماتور[۲۶]..... ۵۱
شکل۴-۱۰. نمودار بررسی استقلال از مش در پست اول- حالت اول..... ۵۳
شکل۴-۱۱. محل قرارگیری دریچه‌ها در پست اول-حالت دوم..... ۵۴

شکل۴-۱۲. محل قرارگیری دریچه‌ها در پست اول-حالت سوم ۵۵
شکل۴-۱۳. نحوه‌ی چیدمان اجزای پست دوم و محل قرارگیری دریچه‌ها ۵۶
شکل۴-۱۴. محل قرارگیری دریچه‌ها پست دوم-حالت دوم ۵۷
شکل۴-۱۵. نحوه‌ی چیدمان اجزای پست سوم-حالت اول و محل قرارگیری دریچه‌ها ۵۹
شکل۴-۱۶. نحوه‌ی چیدمان اجزای پست سوم-حالت سوم و محل قرارگیری دریچه‌ها ۶۰
شکل۴-۱۷. نحوه‌ی چیدمان اجزای پست سوم-حالت سوم و محل قرارگیری دریچه‌ها ۶۱

فصل۵ ..... ۶۲

شکل۵-۱. جانمایی اجزای پست در پست اول ۶۳
شکل۵-۲. بردارهای سرعت در مقطع X=۲/۲ در پست اول-حالت اول ۶۴
شکل۵-۳. کانتورهای دما در مقطع X=۲/۲ در پست اول-حالت اول ۶۵
شکل۵-۴. مقادیر سرعت در امتداد طولی اتاق بر روی خطوط به ارتفاع ۰/۵ و ۱متر واقع در X=۲/۱ ..... ۶۵
شکل۵-۵. مقادیر دما در امتداد طولی اتاق بر روی خطوط به ارتفاع ۰/۵ و ۱ متر واقع در X=۲/۱ ..... ۶۶
شکل۵-۶. نمودار مقایسه‌ی فراوانی دمای هوای موجود در پست اول-حالت اول ۶۷
شکل۵-۷. نمودار مقایسه‌ی فراوانی دمای هوای خروجی از پست اول-حالت اول ۶۸
شکل۵-۸. مسیر جریان هوا در پست اول-حالت اول ۶۹
شکل۵-۹. توزیع دما روی سطوح ترانس درپست اول-حالت اول ۷۰
شکل۵-۱۰. دمای گره‌های روی سطح۴ ترانسفورماتور ۷۰
شکل۵-۱۱. بردارهای سرعت و کانتور سرعت در مقطع X=۲/۲ در پست اول-حالت اول ۷۲
شکل۵-۱۲. کانتور دما در مقطع X=۲/۲ در پست اول-حالت دوم ۷۳
شکل۵-۱۳. مقادیر سرعت در امتداد طولی اتاق برای خطوط به ارتفاع ۰/۵متری زیر کف و ۱متری بالای کف واقع در X=۲/۱ ..... ۷۳
شکل۵-۱۴. مقادیر دما در امتداد طولی اتاق برای خطوط به ارتفاع ۰/۵متری زیر کف و ۱ متری بالای کف واقع در X=۲/۱ ..... ۷۴
شکل۵-۱۵. نمودار مقایسه‌ی فراوانی دمای هوای موجود در پست اول-حالت دوم ۷۵
شکل۵-۱۶. نمودار مقایسه‌ی فراوانی دمای هوای خروجی از پست اول-حالت دوم ۷۵
شکل۵-۱۷. مسیر جریان هوا در پست اول-حالت دوم ۷۶
شکل۵-۱۸. توزیع دما روی سطوح ترانس درپست اول-حالت دوم ۷۷
شکل۵-۱۹. دمای گره‌های روی سطح۲ ترانسفورماتور ۷۸
شکل۵-۲۰. بردارها و کانتورهای سرعت در مقطع X=۲/۲ در پست اول-حالت سوم ۸۰
شکل۵-۲۱. کانتورهای دما در مقطع X=۲/۲ در پست اول-حالت سوم ۸۰
شکل۵-۲۲. مقادیر سرعت در امتداد طولی اتاق برای خطوط به ارتفاع ۰/۵متری زیر کف و ۱متری بالای کف واقع در X=۲/۱ ..... ۸۱
شکل۵-۲۳. توزیع دما در امتداد طولی اتاق برای خطوط به ارتفاع ۰/۵متری زیر کف و ۱متری بالای کف واقع در X=۲/۱ ..... ۸۱
شکل۵-۲۴. نمودار مقایسه‌ی فراوانی دمای هوای موجود در پست اول-حالت سوم ۸۳
شکل۵-۲۵. نمودار مقایسه‌ی فراوانی دمای هوای خروجی از پست اول-حالت سوم ۸۳
شکل۵-۲۶. مسیر جریان هوا در پست اول-حالت سوم ۸۴
شکل۵-۲۷. توزیع دما روی سطوح ترانس در پست اول-حالت سوم ۸۵
شکل۵-۲۸. دمای گره‌های روی سطح۲ ترانسفورماتور ۸۶

شکل۵-۲۹. جانمایی اجزای پست در پست دوم ۸۹
شکل۵-۳۰. بردارها و کانتورهای سرعت در مقطع Z=۱/۷ در پست دوم-حالت اول ۹۰
شکل۵-۳۱. کانتورهای دما در مقطع Z=۱/۷ در پست دوم-حالت اول ۹۱
شکل۵-۳۲. مقادیر سرعت در امتداد طولی اتاق برای خطوط به ارتفاع ۰/۵متری زیر کف و ۱متری بالای کف واقع در Z=۲/۳ ۹۱
شکل۵-۳۳. مقادیر دما در امتداد طولی اتاق برای خطوط به ارتفاع ۰/۵متری زیر کف و ۱متری بالای کف واقع در Z=۲/۳ ۹۲
شکل۵-۳۴. نمودار مقایسه‌ی فراوانی دمای هوای موجود در پست دوم-حالت اول ۹۳
شکل۵-۳۵. نمودار مقایسه‌ی فراوانی دمای هوای خروجی از پست دوم-حالت اول ۹۳
شکل۵-۳۶. مسیر جریان هوا در پست دوم-حالت اول ۹۴
شکل۵-۳۷. توزیع دما روی سطوح ترانس در پست دوم-حالت اول ۹۵
شکل۵-۳۸. دمای گره‌های روی سطح۳ ترانسفورماتور ۹۶
شکل۵-۳۹. بردارهای سرعت در مقطع Z=۱/۷ در پست دوم-حالت دوم ۹۸
شکل۵-۴۰. کانتورهای دما در مقطع Z=۱/۷ در پست دوم-حالت دوم ۹۸
شکل۵-۴۱. مقادیر سرعت در امتداد طولی اتاق برای خطوط به ارتفاع ۰/۵متری زیر کف و ۱متری بالای کف واقع در Z=۲/۳ ۹۹
شکل۵-۴۲. مقادیر دما در امتداد طولی اتاق برای خطوط به ارتفاع ۰/۵متری زیر کف و ۱متری بالای کف واقع در Z=۲/۳ ۹۹
شکل۵-۴۳. نمودار مقایسه‌ی فراوانی دمای هوای موجود در پست دوم-حالت دوم ۱۰۰
شکل۵-۴۴. نمودار مقایسه‌ی فراوانی دمای هوای خروجی از پست دوم-حالت دوم ۱۰۱
شکل۵-۴۵. مسیرهای جریان هوا در پست دوم-حالت دوم ۱۰۲
شکل۵-۴۶. توزیع دما روی سطوح ترانس در پست دوم-حالت دوم ۱۰۳
شکل۵-۴۷. دمای گره‌های روی سطح۳ ترانسفورماتور ۱۰۴
شکل۵-۴۸. بردارها وکانتورهای سرعت در مقطع Z=۱/۷ در پست دوم-حالت سوم ۱۰۶
شکل۵-۴۹. کانتورهای دما در مقطع Z=۱/۷ در پست دوم-حالت سوم ۱۰۶
شکل۵-۵۰. مقادیر سرعت در امتداد طولی اتاق برای خطوط به ارتفاع ۰/۵متری زیر کف و ۱متری بالای کف واقع در Z=۲/۳ ۱۰۷
شکل۵-۵۱. توزیع دما در امتداد طولی اتاق برای خطوط به ارتفاع ۰/۵متری زیر کف و ۱متری بالای کف واقع در Z=۲/۳ ۱۰۷
شکل۵-۵۲. نمودار مقایسه‌ی فراوانی دمای هوای موجود در پست دوم-حالت سوم ۱۰۸
شکل۵-۵۳. نمودار مقایسه‌ی فراوانی دمای هوای خروجی از پست دوم-حالت سوم ۱۰۹
شکل۵-۵۴. مسیرهای جریان هوا در پست دوم-حالت سوم ۱۱۰
شکل۵-۵۵. توزیع دما روی سطوح ترانس در پست دوم-حالت سوم ۱۱۱
شکل۵-۵۶. دمای گره‌های روی سطح۳ ترانسفورماتور ۱۱۱
شکل۵-۵۷. جانمایی اجزای پست در پست سوم ۱۱۴
شکل۵-۵۸. بردارها و کانتورهای سرعت در مقطع X=۲ در پست سوم-حالت اول ۱۱۵
شکل۵-۵۹. کانتورهای دما در مقطع X=۲ در پست سوم-حالت اول ۱۱۶
شکل۵-۶۰. نمودار مقایسه‌ی فراوانی دمای هوای موجود در پست سوم-حالت اول ۱۱۷
شکل۵-۶۱. نمودار مقایسه‌ی فراوانی دمای هوای خروجی از پست سوم-حالت اول ۱۱۷
شکل۵-۶۲. مسیر جریان هوا در پست سوم-حالت اول ۱۱۸
شکل۵-۶۳. توزیع دما روی سطوح ترانس در پست سوم-حالت اول ۱۱۹

شکل۵-۶۴. دمای گره‌های روی سطح۴ ترانسفورماتو ۱۲۰
شکل۵-۶۵. بردارهای سرعت در مقطع X=۲ در پست سوم-حالت دوم ۱۲۱
شکل۵-۶۶. کانتور دما در مقطع X=۲ در پست سوم-حالت دوم ۱۲۲
شکل۵-۶۷. نمودار مقایسه‌ی فراوانی دمای هوای موجود در پست سوم-حالت دوم ۱۲۳
شکل۵-۶۸. نمودار مقایسه‌ی فراوانی دمای هوای خروجی از پست سوم-حالت دوم ۱۲۳
شکل۵-۶۹. مسیر جریان هوا در پست سوم-حالت دوم ۱۲۴
شکل۵-۷۰. توزیع دما بر روی فین‌های سطح۳ ترانس در پست سوم-حالت دوم ۱۲۶
شکل۵-۷۱. بردارهای سرعت در مقطع X=۲ در پست سوم -حالت سوم ۱۲۷
شکل۵-۷۲. کانتور دما در مقطع X=۲ در پست سوم -حالت سوم ۱۲۸
شکل۵-۷۳. نمودار مقایسه‌ی فراوانی دمای هوای موجود در پست سوم-حالت سوم ۱۲۹
شکل۵-۷۴. نمودار مقایسه‌ی فراوانی دمای هوای خروجی از پست سوم-حالت سوم ۱۲۹
شکل۵-۷۵. مسیر جریان هوا در پست سوم-حالت سوم ۱۳۰
شکل۵-۷۶. توزیع دما روی سطوح ترانس در پست سوم-حالت سوم ۱۳۱

فهرست علائم اختصاری

شتاب گرانش (m/s^2)	g_i
انرژی جنبشی آشفتگی (m^2/s^2)	k
تغییرات سرعت در راستای $\boldsymbol{x}$ و $\boldsymbol{y}$ و $\boldsymbol{z}$ (m/s)	u',v',w'
ثابت‌های مدل $k-\varepsilon$	C_μ, C_1, C_2
توابع تجربی برای مدل $k-\varepsilon$	F_μ, F_1, F_2, E
فشار(Pa)	P
عدد رینولدز آشفته	R_T
عدد رینولدز محلی	R_y
دما(k)	T
زمان(t)	t
مؤلفه‌های سرعت در راستای $\boldsymbol{x}$ و $\boldsymbol{y}$ و $\boldsymbol{z}$ (m/s)	U,V,W
نرخ از بین رفتن آشفتگی(m^2/s^3)	ε
چگالی (kg/m^3)	ρ
ویسکوزیته دینامیکی($kg/m.s$)	μ
ویسکوزیته سینماتیکی(m^2/s)	ν
ویسکوزیته آشفته(m^2/s)	ν_t
عدد رینولدز پایین	R_t
ضریب پخش گرما (m^2/s)	α

فصل۱

مقدمه

۱-۱. مقدمه

قسمت اعظم انرژی الکتریکی مورد نیاز انسان در تمام کشورهای جهان ، توسط مراکز تولید مانند نیروگاه‌های بخاری، آبی و هسته ای تولید می شود. این مراکز دارای توربین‌ها و آلترناتیوهای سه فاز هستند. ولتاژی که بوسیله ژنراتورها تولید می شود تا میزانی که مقرون به صرفه است جهت انتقال و توزیع بالا برده می‌شود. گاهی چندین مرکز تولید ولتاژ بوسیله شبکه‌ای به هم مرتبط می‌شوند تا انرژی الکتریکی مورد نیاز را بطور مداوم و به مقدار کافی در شهرها و نواحی مختلف توزیع کنند. در محل‌های توزیع باید ولتاژ پایین آورده شود تا ولتاژ مصرفی قابل استفاده برای مصارف عمومی و کارخانجات باشد. این افزایش و کاهش ولتاژ توسط ترانسفورماتور توزیع[۱] انجام می‌شود. بدیهی است توزیع انرژی بین تمام مصرف کننده‌های یک شهر از مرکز توزیع اصلی امکانپذیر نیست و مستلزم هزینه و افت ولتاژ زیادی خواهد بود. لذا هر مرکز اصلی به چندین مرکز یا پست کوچکتر(پست‌های داخل شهری) تقسیم می‌شود. هر کدام از این مراکز به نوبه خود از ترانسفورماتورهای توزیع استفاده می‌کنند.

در انتخاب و استفاده از ترانسفورماتورها عموماً به پارامترهایی نظیر توان و ولتاژ ترانسفورماتور، فرکانس کاری، سیستم خنک‌کننده، دمای محیط و ... توجه فراوانی شده و بر اساس شرایط مورد نیاز برای کار ترانسفورماتور و نیز پارامترهای اقتصادی مربوطه (قیمت ترانس) دستگاه مورد نظر انتخاب و خریداری می‌گردد[۱].

عمر طراحی ترانسفورماتورهای توزیع در شرایط ایران ۴۰ سال می‌باشد حال اگر اقدامات لازم برای ترانسفورماتورها انجام نگیرد، این تجهیزات زودتر از عمر طراحی خود از مدار خارج شده و عملاً صنعت برق از سرمایه موجود به خوبی استفاده نکرده است[۲].

با توجه به اینکه ترانسفورماتورهای توزیع در اتاقک‌های بسته قرار دارند شرایط محیطی در این اماکن می‌تواند تأثیر بسزایی در راندمان کاری این سیستم‌ها داشته باشد. بطوریکه تهویه‌ی صحیح اتاق‌های ترانسفورماتور نقش مهمی در افزایش عمر و بهبود عملکرد آنها داشته و از نظر اقتصادی صرفه‌جویی قابل توجهی را در پی خواهد داشت.

دمای محیط یکی از عوامل مهم در تعیین عمر عایق ترانسفورماتور می‌باشد چرا که با افزایش دمای محیط، دمای نقطه داغ سیم پیچی‌ها افزایش یافته و باعث کاهش عمر عایق می‌شود به طوری که افزایش دمای نقطه داغ به میزان ۷ درجه سانتی‌گراد باعث کاهش عمر ترانس به نصف مقدار قبلی می‌شود[۳].

ترانسفورماتورها را از نظر ماده‌ی عایقی و ماده‌ی خنک کننده به سه دسته تقسیم می‌کنند[۴].

۱-Distrobution Transformer

۱- ترانسفورماتورهای خشک(Dry Transformer)

این نوع از ترانسفورماتورها برای خنک شدن به روغن احتیاجی ندارد و برای ولتاژهای بالا جوابگو نیستند. با رشد تکنولوژی ساخت قطعات عایقی و کاغذهای عایقی با دمای بالا امکان ساخت ترانسفورماتورهای با توان بالا مقدور شده است ولی به علت تماس هوا با عایق سیم‌پیچ‌ها اگر در محیط آلودگی باشند این ترانسفورماتورها مستعد خرابی خواهند شد. معمولاً برای حفاظت مواد عایقی در برابر آلاینده‌ها از روکش پلی‌استر استفاده می شود. این روکش تحت فشار و خلاء روی مواد عایقی کشیده می شود. این نوع ترانسفورماتورها تا قدرت ۱۰MVA و ولتاژ ۱۵kV تولید شده‌اند.

۲- ترانسفورماتورهای با عایق گازی(Gas insulated Transformer)

این نوع ترانسفورماتورها همان ترانسفورماتورهای خشک هستند با این تفاوت که در آن گاز N2 در یک مجرا تحت فشار محصور شده است. این ترانسفورماتورها ضد آتش و کم هزینه هستند.

۳- ترانسفورماتورهای روغنی(Oil immersed power Transformer)

با توجه به اینکه در کشور ما برای توزیع برق اغلب از ترانسفورموتورهای روغنی استفاده می‌شود به همین دلیل در این پروژه ترانسفورماتور روغنی مدل شده است. اجزای اصلی در ساختمان ترانسفورماتورهای قدرت روغنی عبارتند از:

الف- هسته یا مدار مغناطیسی

هسته‌ی ترانسفورماتور متشکل از ورقه‌های نازک است که سطح آنها با توجه به قدرت ترانسفورماتورها محاسبه می‌شود. برای کم کردن تلفات آهنی هسته‌ی ترانسفورماتور را نمی‌توان به طور یکپارچه ساخت. بلکه معمولاً آنها را از ورقه‌های نازک فلزی که نسبت به یکدیگر عایق‌اند می‌سازند. برای کاهش تلفات فوکو ورقه‌ها تا حد امکان نازک ساخته می‌شوند ولی ضخامت آنها نباید به حدی برسد که از نظر مکانیکی ضعیف شده و تاب بردارند. برای عایق کردن ورق‌های ترانسفورماتور قبلا از یک کاغذ نازک مخصوص که در یک سمت این ورقه چسبانده می‌شد استفاده می‌کردند اما امروزه بدین منظور در هنگام ساختن و نورد این ورقه‌ها یک لایه‌ی نازک اکسید فسفات یا سیلیکات به ضخامت ۲ تا ۲۰ میکرون به عنوان عایق در روی آنها می‌مالند و با آن روی ورقه‌ها را می‌پوشانند.

ب- سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه

معمولاً برای سیم پیچ اولیه و ثانویه ترانسفورماتور از هادی‌های مسی با عایق لاکی استفاده می‌کنند. اینها با سطح مقطع گرد و اندازه‌های استاندارد وجود دارند. در ترانسفورماتورهای پر قدرت از هادی‌های مسی که به صورت تسمه هستند استفاده می‌شود و ابعاد این گونه هادی‌ها نیز استاندارد است. در سیم‌پیچ‌ها باید جنبه‌های اقتصادی که همان مقدار مصرف مس و راندمان ترانس می‌باشد مراعات شود. ساختمان سیم‌پیچ‌ها برای رژیم حرارتی که در آن کار می‌کند باید محاسبه شود، زیرا در

غیر این صورت از عمر ترانس کاسته خواهد شد. سیم‌پیچ‌ها در مقابل تنش‌های حاصل از اتصال کوتاه-های ناگهانی مقاوم می‌باشند. همچنین سیم‌پیچ‌ها باید در مقابل اضافه ولتاژهای ناگهانی از نقطه نظر عایقی مقاومت لازم را داشته باشند.

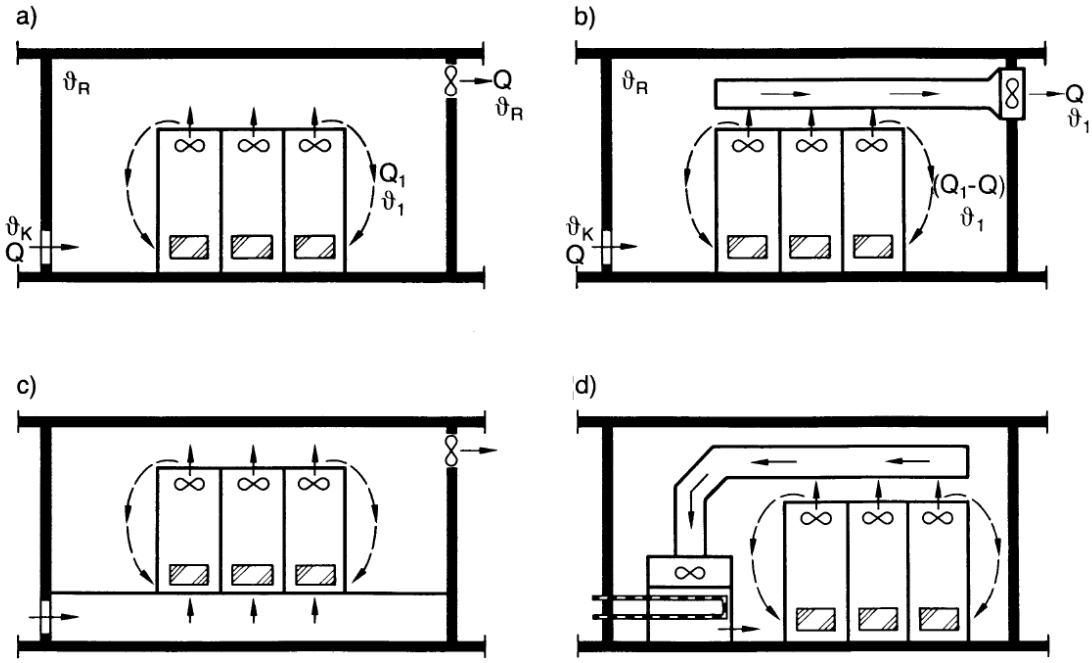
پ- تانک اصلی روغنی

تانک ترانس یک ظرف مکعبی یا بیضوی شکل است که هسته و سیم‌پیچ‌های ترانس در آن قرار می‌گیرند و نقش یک پوشش حفاظتی را برای آنها ایفا می‌کند. داخل این ظرف از روغن پر می-شود بطوری که هسته و سیم‌پیچ کاملاً در روغن فرو می‌روند. سطح خارجی تانک تلفات گرمایی داخل ترانس را به بیرون منتقل می‌کند. از هر مترمربع سطح خارجی تانک حدوداً ۴۰۰ الی ۴۵۰ وات توان گرمایی به خارج منتقل می‌شود، بطوری که در ترانس‌های کوچک، همین سطح برای خنک کاری کافی است و به تمهیدات دیگری نظیر رادیاتور و فن نیاز نمی‌باشد.

ترانسفورماتورهای مخصوص نصب در هوای آزاد با ترانسفورماتورهایی که مخصوص نصب در فضای سرپوشیده هستند اختلاف دارند. لذا ترانسفورماتورهایی که در اطاقک‌های سرپوشیده قرار می-گیرند باید در مقابل گرد و خاک، برف و باران و غیره ایمن باشند. ترانسفورماتورهایی که در اتاقک‌های پست قرار دارند در اثر کارکرد، حرارت زیادی را تولید می‌کنند که این حرارت تولیدی براساس ظرفیت ترانس متفاوت می‌باشد. بمنظور خنک کردن ترانس و خارج کردن حرارت حاصل از تلفات از هسته و سیم‌پیچ باید هوای کافی متناسب با آن موجود باشد. دریچه‌هایی نیز جهت ورود و خروج هوا باید درنظر گرفته شود. همچنین طبق استاندار IEC دمای داخلی پست نباید از ۴۰درجه‌ی سانتیگراد تجاوز کند[۵].

در صورتی که دمای هوای محیط حداکثر $30^{\circ}c$ باشد از تهویه‌ی طبیعی[۱] استفاده می‌شود. در دماهای بالاتر از این مقدار در صورتی که تهویه طبیعی انجام شود ممکن است که برای ترانس خطرساز باشد. بنابراین در دماهای بالاتر از $30^{\circ}c$ می‌توان برای گردش و تهویه‌ی بهتر هوا از مکنده-های هوا استفاده کرد. برای تهویه‌ی اجباری[۲] اتاق پست از روش‌های مختلفی استفاده شده است[۶]. شکل(۱-۱) چند نمونه از حالت‌های تهویه اتاقک پست را نشان می‌دهد.

۱- Natural convection
۲- Force convection



شکل۱-۱. چند نمونه از حالت تهویه. a) تهویه ساده پست. b) استفاده از هود برای تهویه فضای پست. c) استفاده از سقف کاذب برای تهویه. d) تهویه‌ی پست با استفاده از سیستم خنک کننده[۶]

یکی از دلایل عمده و مهمی که باعث می‌شود مشکلات بسیاری برای ترانسفورماتورها در فضای پست‌ها گزارش شود، مربوط به عدم کیفیت هوا و غیرقابل رویت بودن آن می‌باشد. در واقع درک و فهمیدن پدیده‌ای که قابل دیدن نیست تا حدی مشکل است.

دمای هوا، سرعت هوا و میزان آلودگی هوا از مهمترین فاکتورهای تأثیر گذار بر روی کیفیت هوای داخلی می‌باشند[۷].

طرح و الگوی جریان هوا در توزیع فضایی آلاینده‌ها و تهویه هوا کاملاً تأثیر گذار است. از الگوهای نامناسب جریان هوا و سرعت و دمای نامطلوب هوا اغلب بعنوان تهویه ناکافی، توزیع ضعیف و حبس شدن هوا یاد می‌شود.

محل قرارگیری و طراحی ترمینال تغذیه هوا همانند ترمینال خروج هوا معمولاً الگوی جریان هوا را در اتاق ترانسفورماتور مشخص می‌کند و از همین طریق بر کیفیت هوا، دمای اتاق و خنک شدن ترانس تأثیرگذار می‌باشد.

یکی از مشکلات اساسی و بزرگ هوای داخلی، فقدان تکنیک‌ها و تجهیزات اندازه‌گیری سرعت و دمای هوا می‌باشد. روش‌های متداول برای اندازگیری وسایلی مثل ترموکوپل[۱]، تریستر(رزیستور برقی) است. با استفاده از این وسایل اندازه‌گیری سرعت و دما فقط در نقطه‌ای ممکن است که حس‌گر

۱- Thermocouple