

Optimizing the performance of propane and butane flare blower using variable frequency drive

Davood Gogonani¹, Mozhd Heydarianasl^{2*}

¹ Department of Electrical Engineering, Das.C., Islamic Azad University, Dashtestan, Iran
gogonanid@gmail.com

² Department of Electrical Engineering, Das.C., Islamic Azad University, Dashtestan, Iran
heydarianasl@iau.ac.ir

Abstract: Growth and development in human societies are directly related to increased energy production and consumption. After the start of the Industrial Revolution, there has been a rapid increase in the use of fossil fuels in industrialized countries, which has led to higher levels of environmental pollutants and greenhouse gases, and the resulting effects continue to plague human societies today. One of the most important sources of environmental pollutants in the oil, gas, and petrochemical industries is the flare. In this study, strategies for reducing emissions from flares were investigated. A sample flare equipped with a two-speed blower electrofan was analyzed. Using a variable frequency drive to control the speed of the flare air blower electromotor, the combustion process of propane and butane in the flare was simulated to reduce smoke and optimize combustion. Finally, the study demonstrated the positive effects of using a variable frequency drive in achieving complete combustion and reducing flare emissions, and presented its advantages in ensuring the proper operation of the flare air blower electrofan.

Keywords: Variable Frequency Drive (VFD), Propane, Butane, Flare Ignition.

JCDSA, Vol. 3, No. 2, Summer 2025

Received: 2025-04-03

Online ISSN: 2981-1295

Accepted: 2025-07-08

Journal Homepage: <https://sanad.iau.ir/en/Journal/jcdsa>

Published: 2025-09-22

CITATION

Gogonani, D., Heydarianasl, M., "Optimizing the performance of propane and butane flare blower using variable frequency drive", Journal of Circuits, Data and Systems Analysis (JCDSA), Vol. 3, No. 2, pp. 23-34, 2025.

DOI: 10.82526/jcdsa.2025.1203130

COPYRIGHTS



©2025 by the authors. Published by the Islamic Azad University Shiraz Branch. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

* Corresponding author

Extended Abstract

1- Introduction

Since the largest amount of industrial pollutants are produced by flare systems in oil and gas refineries and petrochemical complexes, paying attention to the combustion efficiency and proper performance of flare systems is of great importance. Therefore, the main goal of this research is to find a solution for proper performance and also to reduce flare propane and butane emissions related to the refrigeration unit of the third refinery of the South Pars Gas Complex located in the Assaluyeh region. In order to achieve the aforementioned goal, it can be stated that if there is a speed control system on the studied flare air blower electric motor, the blower speed can be adjusted appropriately according to the amount of flaring, in order to create optimal combustion and eliminate flare smoke. That is, when the flaring is zero, the blower fan speed should be at the minimum possible and according to the increase in the amount of flaring, the blower fan speed should be manually increased to the appropriate amount. In this case, for example, for flaring of about 40 percent, the blower does not need to be in high speed mode and in service for a long time. In this situation, smooth and continuous speed control will be performed, and electrical stresses caused by turning the electric motor on and off to change the speed of the blower fan will also be eliminated.

2- Methodology

One of the problems related to flare systems during flaring operations is flare smoking. Flare smoking during flaring operations is caused by low flare efficiency, in which case the combustion process in the flare is not completed properly and completely, and unburned hydrocarbon compounds appear in the form of smoke, which in addition to increasing environmental pollutants, will also lead to the destruction of the flare tip in the long term. If there is a speed control system on the flare air blower electrofan, the blower speed can be adjusted appropriately according to the flaring rate. The important point of this work is to create a match between the flaring rate and the blower electrofan air flow rate and determine the appropriate working points for the blower, which will also lead to a reduction in blower energy consumption. In the current study, the root cause of the undesirable performance of the propane flare of the refrigeration unit in the third refinery of Assaluyeh has been investigated. Then, the control of the speed of the flare blower electric motor and its structure and appropriate method will be mentioned, and after expressing the propane gas combustion equations, the process of simulating propane combustion using Aspen Hysys software will be mentioned.

3- Results and discussion

The first task in optimizing flare combustion is to determine the amount of gas flow sent to the flare. It should be noted that there is no instrumentation equipment on the exit routes from the storage tanks to the flare to

measure the amount of gas flow. Installing flow measurement devices for the implementation of the project, in addition to the cost issue, is also related to other issues such as safety and production, which has weakened the motivation to implement the project in the refinery and complex. Of course, there are methods to determine the gas flow sent to the flare without the need to take the flare out of service or interrupt production, but the cost of implementation is very high. The amount of gas sent from the tanks to the flare can be calculated using the characteristics of the flare control valves. This method is used in the refinery process engineering unit to determine the gas losses produced due to flaring. In this method, according to the technical specifications of the flare control valve, the valve performance characteristic curve is obtained and according to the percentage of flare valve opening, the flow through it is determined based on kilograms per hour. The gas flow sent to the flare is obtained according to the degree of flare valve opening and based on this, the flare valve performance characteristic curve is drawn.

4- Conclusion

Field observations in different working conditions of propane and butane flares have shown that in some operating conditions, flare performance is not optimal, which has led to human dissatisfaction, environmental pollution, and other problems. In this study, by examining the flare system of the refrigeration unit and simulating complete combustion using Aspen Hysys software, the amount of air required for smokeless combustion was obtained. Then, using affinity laws and simulation results, the blower speed was examined to provide this volume of air to achieve proper flare combustion. By examining different speed control methods in squirrel cage induction electric motors, the use of a PWM variable frequency drive was proposed as a suitable option for the blower under study. It should be explained that equipping the flare blower with a drive will not only improve flare performance, but also save electrical energy consumption and reduce electric motor depreciation. In order to design and use a new electric motor, in addition to considering technical issues such as the type of duty cycle, insulation class, power and torque, international efficiency rating, suitability of the electric motor for use in inverters, etc., attention must be paid to the standards of the National Oil Company, including explosion-proof equipment. An important factor in determining the required power of the blower is to determine the desired capacity for flare smoke removal. After selecting the appropriate electric motor, the power and specifications of the required variable frequency drive can be determined. One of the biggest problems that variable frequency drives, especially the PWM type, create in industrial facilities is the generation of noise and electromagnetic interference with adjacent electrical equipment. In order to solve this problem and deploy the drive in a local power station, a properly insulated enclosure must be used so as not to disrupt the operation of adjacent equipment and systems.





بهینه سازی عملکرد دمنده فلر پروپان و بوتان با استفاده از درایو فرکانس متغیر

داوود گوگونی^۱، مژده حیدریان اصل^۲

۱- گروه مهندسی برق، واحد دشتستان، دانشگاه آزاد اسلامی، دشتستان، ایران (gogonanid@gmail.com)

۲- گروه مهندسی برق، واحد دشتستان، دانشگاه آزاد اسلامی، دشتستان، ایران (heydarianasl@iau.ac.ir)

چکیده: رشد و توسعه در جوامع بشری با افزایش تولید و مصرف انرژی ارتباط مستقیمی دارد. پس از شروع انقلاب صنعتی، رشدی فزاینده در استفاده از انرژی های فسیلی در کشورهای صنعتی رخ داده که این عامل باعث افزایش آلاینده های زیست محیطی و گازهای گلخانه ای شده و آثار آن امروزه نیز گریبان گیر جوامع بشری شده است. یکی از تجهیزات بسیار مهم تولیدکننده آلاینده های زیست محیطی در صنایع مرتبط با نفت، گاز و پتروشیمی، فلر می باشد. در این تحقیق، راهکارهای کاهش آلاینده های تولیدی توسط فلرها بررسی شده است. در ادامه یک فلر نمونه که مجهز به یک الکتروفن دمنده دو سرعت می باشد مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از یک درایو فرکانس متغیر برای کنترل سرعت الکتروموتور دمنده هوای فلر، فرایند احتراق فلر پروپان و بوتان در جهت کاهش دود و بهینه سازی احتراق، شبیه سازی شده است. نهایتاً، نتایج مثبت استفاده از درایو فرکانس متغیر در ایجاد احتراق کامل و کاهش آلاینده های در فلر بررسی شده و نیز مزایای استفاده از درایو فرکانس متغیر در عملکرد مناسب الکتروفن دمنده هوای فلر، ارائه گردیده است.

واژه های کلیدی: درایو فرکانس متغیر (VFD)، پروپان، بوتان، احتراق فلر

DOI: 10.82526/jcdsa.2025.1203130

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ چاپ مقاله: ۱۴۰۴/۰۶/۳۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۴/۱۷

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۴/۰۱/۱۴

۱- مقدمه

مجبور به پرداخت خسارت خواهد کرد [۱-۳]. مفهوم بهره‌وری که پس از انقلاب صنعتی به سرعت در ادبیات اقتصادی کشورهای صنعتی دنیا وارد شد، استقبال از آن به حدی بوده که میزان تحقق به آن، به عنوان معیاری مهم در سنجش توسعه یافتگی کشورها تبدیل شده است. با توجه به اینکه یکی از مصرف کنندگان بزرگ انرژی، بخش صنعت کشور است؛ پرداختن به مقوله بسیار مهم بهره‌وری و کاهش تولید آلاینده‌های محیط زیست در صنعت، به رشد اقتصاد کشور کمک کرده و کاهش تلفات و افزایش بازده تجهیزات همواره مد نظر مدیران می‌باشد. الزامات قانونی بهره‌وری در دستگاه‌های اجرایی کشور و نیز مباحث بسیار مهم زیست محیطی، باعث شده تا سازمان‌ها و شرکت‌ها ملزم به ارائه مستمر گزارش فعالیت‌های خود در زمینه‌های بهره‌وری و کاهش آلاینده‌های زیست محیطی شوند [۴-۵].

در صنایع مرتبط با نفت، گاز و پتروشیمی، یکی از اصلی ترین منابع تولیدکننده آلاینده‌های زیست محیطی و همچنین مهمترین راه اتلاف انرژی، سیستم‌های فلر می‌باشند. بنابراین توجه به موضوع فلر و مباحث مرتبط با آن از هر دو جنبه‌ی زیست محیطی و اقتصادی بسیار مهم بوده و امروزه یکی از مهمترین مباحث مورد مطالعه و تحقیق در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی می‌باشد. با توجه به گستردگی تاسیسات نفتی و گازی در کشور مانند میدان‌های نفت و گاز، پالایشگاه‌های نفتی و گازی،

افزایش جمعیت و رشد شاخص‌های مرتبط با آن اعم از نیاز به انرژی، منابع غذایی و ... دانشمندان و سیاستمداران را به بازنگری در الگوهای مدیریت کلان در سطوح ملی و بین‌المللی مجبور کرده‌است. از طرف دیگر بروز بحران‌های مهم در جهان کنونی مانند کاهش ذخایر و منابع انرژی تجدیدناپذیر، افزایش قیمت انرژی، بحران آب، مسائل زیست محیطی و پدیده گرم شدن زمین و مشکلات ناشی از آن، دانشمندان جهان را به تکاپو انداخته تا از روش‌های علمی و سازنده برای حل این مشکلات چاره اندیشی کنند. نتیجه‌ی این تلاش‌های جمعی و بین‌المللی در غالب الگوهای مدیریتی در زمینه‌های کاهش اتلاف انرژی، افزایش بهره‌وری در همه‌ی بخش‌ها و نیز تدوین استانداردها و دستورالعمل‌ها در جهت افزایش بهره‌وری ارائه شده است. همچنین برگزاری اجلاس‌های بین‌المللی و تصویب توافق نامه‌هایی با موضوع کاهش گازهای گلخانه‌ای و دیگر آلاینده‌های صنعتی نیز انجام گرفت که از پیمان کیوتو، مونترال و معاهده‌ی پاریس به عنوان نمونه می‌توان نام برد که کشورهای امضا کننده‌ی این معاهدات را پس از مهلت مقرر در این توافق نامه‌ها، ملزم به کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای می‌کند و در غیراین صورت آنها را



ایستگاه‌های تقویت فشار، پتروشیمی‌ها و اسکله‌های بارگیری نفت و گاز، حجم قابل توجهی از انرژی ارزشمند در سیستم‌های فلر سوخته شده و به ترکیبات خطرناک برای انسان و محیط زیست تبدیل می‌گردد. بسیار روشن است که پرداختن به موضوع فلر و فلرینگ، تأثیر زیادی در کاهش اتلاف انرژی و آلاینده‌های زیست محیطی دارد. امید است با تلاش بی‌وقفه‌ی جامعه‌ی علمی و صنعتی، کشور عزیزمان در مسیر رشد و بالندگی با شتاب بیشتری گام بردارد [۶-۸].

در پالایشگاه‌های نفت و گاز و مجتمع‌های پتروشیمی، بیشترین میزان آلاینده‌های صنعتی از سیستم‌های فلر تولید می‌گردد؛ لذا توجه به بهسوزی و عملکرد مناسب سیستم‌های فلر از اهمیت بالایی برخوردار می‌باشد. بنابراین هدف اصلی این تحقیق یافتن راهکاری برای عملکرد مناسب و همچنین کاهش آلاینده‌ی فلر پروپان و بوتان مربوط به واحد تبرید پالایشگاه سوم مجتمع گاز پارس جنوبی واقع در منطقه عسلویه است. در راستای تحقق هدف مذکور می‌توان بیان کرد که در صورت وجود یک سیستم کنترل سرعت بر روی الکتروموتور دمنده هوای فلر مورد مطالعه، سرعت دمنده را می‌توان متناسب با میزان فلرینگ، به‌طور مناسب به‌منظور ایجاد احتراق بهینه و حذف دود فلر تنظیم کرد. یعنی در زمان صفر بودن فلرینگ، سرعت الکتروموتور دمنده در حداقل ممکن باشد و متناسب با افزایش میزان فلرینگ سرعت الکتروموتور دمنده به‌صورت دستی به مقدار مناسب افزایش یابد. در این‌صورت مثلاً برای فلرینگ در حدود ۴۰ درصد، لازم نیست دمنده در حالت دور تند و برای طولانی مدت در سرویس باشد. در این شرایط کنترل سرعت نرم و پیوسته انجام خواهد شد و تنش‌های الکتریکی ناشی از خاموش و روشن کردن الکتروموتور جهت تغییر دور الکتروموتور دمنده نیز برطرف خواهد شد. نکته مهم این کار ایجاد تطابق بین میزان فلرینگ و دبی الکتروموتور دمنده و تعیین شرایط کاری مناسب برای دمنده است که منجر به کاهش مصرف انرژی دمنده نیز خواهد شد.

در پژوهش جاری، ابتدا به ریشه‌یابی عملکرد نامطلوب فلر پروپان واحد تبرید در پالایشگاه سوم عسلویه پرداخته می‌شود. سپس به کنترل سرعت الکتروموتور دمنده فلر و ساختار و روش مناسب آن اشاره شده و پس از بیان معادلات احتراق گاز پروپان، به فرایند شبیه‌سازی احتراق پروپان با نرم افزار اشاره خواهد شد. نهایتاً نتایج حاصل از شبیه‌سازی و عملکرد مطلوب فلر ارائه می‌گردد.

۲- روش تحقیق

همانطور که قبلاً بیان شد، یکی از تجهیزات بسیار مهم و حیاتی در صنایع مرتبط با نفت، گاز، پتروشیمی و همچنین برخی از صنایع شیمیایی و معدنی، سیستم مشعل یا فلر^۱ می‌باشد. وظیفه سیستم فلر هدایت و سوزاندن گازهای زائد، سمی و یا غیر قابل کنترل، با هدف افزایش شرایط ایمنی افراد، تاسیسات و تجهیزات صنعتی می‌باشد که به این عمل فلرینگ^۲ گفته می‌شود. سیستم فلر باید همواره تحت هر شرایطی در حال کار باشد و در زمان‌هایی که تاسیسات و واحدهای

صنعتی در حالت عملکرد نرمال هستند و نیز در شرایط حساس و بحرانی، بدون اینکه مشکل و آسیبی به آن وارد شود، بتواند عملکرد مناسبی از خود نشان بدهد. بر اساس نوع فرایند صنعتی، نوع ترکیبات ارسال شده به سمت فلر، تجهیزات جانبی و شرایط مکانی و ... سیستم-های فلر دارای ساختار متفاوتی می‌باشند. به‌طور ویژه در صنایع مرتبط با نفت، گاز و پتروشیمی، نکته بسیار مهم در مورد سیستم‌های فلر، جنبه‌های زیست محیطی و اقتصادی آن می‌باشد. در طی عملیات فلرینگ مقادیر زیادی از گازها و هیدروکربن‌های گازی و در حقیقت انرژی ضمن اینکه به هدر می‌رود، باعث تولید ترکیب‌های مضر و مخرب زیست محیطی ناشی از احتراق نیز خواهد شد [۹].

یکی از مشکلات موجود در رابطه با سیستم‌های فلر در زمان عملیات فلرینگ، دود کردن فلر است. دود کردن فلرها در طی عملیات فلرینگ، ناشی از بازدهی پایین فلر است که در این حالت فرایند احتراق در فلر به‌خوبی و به‌طور کامل انجام نگرفته و ترکیبات هیدروکربنی سوخته به شکل دود ظاهر شده و علاوه بر افزایش آلاینده‌های زیست محیطی، در دراز مدت منجر به تخریب نوک فلر نیز خواهد شد. طراحان و سازندگان سیستم‌های فلر به‌منظور جلوگیری از ایجاد دود در زمان فلرینگ و انجام فرایند احتراق کامل، روش‌هایی را به کار بسته‌اند که در ادامه بیشتر توضیح داده خواهد شد. یکی از این روش‌ها که مرتبط با موضوع تحقیق می‌باشد، استفاده از یک الکتروموتور دمنده‌ی هوا جهت ترکیب بهتر هوا با گازهای ارسال شده به فلر و انجام احتراق کامل جهت حذف دود از سیستم فلر، در زمان فلرینگ می‌باشد. به فلرهای مجهز به دمنده هوا، فلرهای القایی هوایی گفته می‌شود و اصطلاح القا در اینجا به مفهوم ایجاد اختلاط و ترکیب مناسب هوا و سوخت می‌باشد.

در پژوهش جاری به‌طور خاص بهینه‌سازی عملکرد الکتروموتور دمنده فلر پروپان و بوتان واحد تبرید پالایشگاه سوم مجتمع گاز پارس جنوبی، که از نوع قفس سنجابی و با توان ۱۳۰ کیلووات می‌باشد، بررسی شده است. وظیفه دمنده فلر، تأمین جریان هوای لازم برای احتراق مناسب فلر در زمان وجود فلرینگ و جلوگیری از ایجاد دود است. دمنده فلر از نوع دوسرعه با دور کند ۷۴۰ rpm و دور تند ۱۴۷۰ rpm بوده و باید همیشه در سرویس باشد حتی در زمانی که فلرینگ وجود ندارد. بررسی‌های میدانی نشان دهنده آن است که دور کند دمنده‌ی فلر برای فلرینگ‌های تا حدود ۲۰ درصد مناسب است و از ایجاد دود جلوگیری نموده و منجر به عملکرد مناسب فلر می‌گردد. دور تند دمنده، برای فلرینگ‌هایی تا حدود ۳۰ درصد مناسب است و منجر به احتراق مناسب فلر می‌گردد. برای فلرینگ‌های بیشتر از ۲۰ درصد و کمتر از ۳۰ درصد، عملکرد دمنده فلر نامناسب بوده و منجر به ایجاد مشکل در عملکرد فلر می‌گردد. شایان ذکر است که بیشترین حالت فلرینگ در این بازه رخ می‌دهد. در این شرایط در حالتی که دمنده هوای فلر با دور کند در سرویس باشد، فلرینگ با دود همراه بوده و عملکرد فلر نامطلوب خواهد بود و اگر دمنده هوای فلر با دور تند در سرویس قرار گیرد، مشکل دود در زمان فلرینگ حذف می‌گردد اما فرایند احتراق فلر با ارتعاش و نویز

² Flaring

¹ Flare



گاز پروپان، فرایند شبیه‌سازی احتراق پروپان با نرم افزار پرداخته خواهد شد. در جدول (۱)، اطلاعات مربوط به سه حالت مختلف فلرینگ در واحد (در شرایط غیرنرمال) و نیز ویژگی‌های گازهای ارسالی به سمت فلر مطرح شده و در ادامه حالت‌های مختلف شرح داده شده است. وقوع حالت‌های مختلف فلرینگ که در این جدول اشاره شده، به ندرت اتفاق افتاده و در حالت عملکرد نرمال واحد رخ نخواهد داد ولی از نظر طراح و سازنده بایستی در نظر گرفته شود.

با توجه به بررسی‌های میدانی در واحد تبرید و ذخیره‌سازی پروپان و بوتان و نیز مطالعات انجام شده در سیستم کنترل فرایندی در واحد مذکور و واحدهای بالادستی مربوطه، دلایل و شرایط مهم و اثرگذار بر ایجاد فلرینگ و میزان آن در شرایط کاری نرمال واحد شناسایی شده که شامل موارد ذیل است:

۱. وضعیت نامناسب فین‌های کندانسور هوایی مربوط به سیکل تبرید و خنک کاری نامناسب آن.
۲. کاهش مقاومت عایقی حرارتی در خطوط بارگیری و تجهیزات عایق شده در اثر تخریب عایق.
۳. گرفتگی قسمت لوله در چیلرهای خنک کننده پروپان و بوتان در اثر وجود نم در گازهای دریافتی از واحدهای پروسسی بالادستی.
۴. گرفتگی قسمت لوله در چیلرهای بازیافت بخارهای پروپان و بوتان در اثر وجود نم در گازهای دریافتی از واحدهای پروسسی بالادستی.
۵. دریافت خط بارگیری بلند با دمای گرم از پالایشگاه‌های مجاور.

جدول (۱): بررسی حالات فلرینگ

حالت سوم	حالت دوم	حالت اول	حالت فلرینگ
فعال شدن حالت اضطراری	تزریق گاز متان به مخزن	ورود گاز گرم به مخزن	شرایط ایجاد کننده فلرینگ
۱۹۶۷۵	۱۵۲۳۲	۶۹۸۱۸	میزان فلرینگ (kg/h)
۵۴/۳	۳۷/۹	۴۷/۶۲	جرم ملکولی
۴۵۴۰۰	۴۶۳۰۰	۴۵۷۴۶	ارزش حرارتی پایین ^۳ (kj/kg)
-۵/۹	-۳	-۲۵/۵	دمای گاز، (°C)
۱/۱۳	۱/۱۶	۱/۱۵	نسبت ظرفیت حرارتی ^۴
۰/۰۰	۳۷/۶۰	۰/۰۰	متان
۰/۲۶	۲/۹۴	۱/۳۳	اتان
۲۷/۴۳	۲۶/۱۵	۷۲/۲۹	پروپان
۲۷/۵۲	۱۲/۷۷	۱۲/۷۰	ایزو بوتان
۴۳/۸۲	۲۰/۱۰	۱۳/۵۷	نرمال بوتان
۰/۹۷	۰/۴۴	۰/۱۱	میعانات گازی
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	مجموع
ناپیوسته	ناپیوسته	ناپیوسته	حالت تخلیه گاز فلرینگ) از نظر پیوسته یا ناپیوسته بودن)
-	-	۲۸	حداکثر افت فشار مجاز، (mbar)

بسیار شدید همراه می‌شود که از نظر شرایط ایمنی مناسب نبوده و این حالت برای مدیران، افراد شاغل در مجاورت فلر و مسئولان زیست محیطی، ایمنی و بهداشت پالایشگاه و مجتمع قابل قبول نمی‌باشد. بر اساس بررسی‌های الکتریکی انجام شده، مشکل دیگر این است که، دمنده هوای فلر توانایی سرویس‌دهی طولانی مدت در حالت دور تند را نداشته و این حالت مشکلات الکتریکی را برای الکتروموتور دمنده ایجاد خواهد نمود. علاوه بر آن باید اشاره شود که تغییر حالت دور به صورت دستی و در محل انجام می‌گیرد و روش انجام آن به این صورت است که دمنده در هر حالتی که باشد ابتدا متوقف شده و با تغییر وضعیت دور (از دور کند به دور تند یا برعکس) مجدداً استارت می‌گردد و انجام مکرر این کار باعث ایجاد تنش‌های الکتریکی در الکتروموتور و همچنین تجهیزات برقی مربوطه می‌گردد.

در صورت وجود سیستم کنترل سرعت بر روی الکتروفن دمنده هوای فلر، متناسب با میزان فلرینگ، می‌توان سرعت دمنده را به‌طور مناسب تنظیم کرد. نکته مهم این کار ایجاد تطابق بین میزان فلرینگ و دبی هوای الکتروفن دمنده و تعیین نقاط کار مناسب برای دمنده است که منجر به کاهش مصرف انرژی دمنده نیز خواهد شد. با توجه به اینکه الکتروموتورهای سه فاز در صنایع مختلف، با کاربردهایی همچون کمپرسور، پمپ، فن و ... سهم بزرگی از انرژی الکتریکی را مصرف می‌کنند؛ توجه به مصرف انرژی در آن‌ها اهمیت زیادی دارد. طبق قوانین پمپ‌ها و فن‌ها^۱، توان مصرفی در پمپ و فن، با مجذور سرعت رابطه مستقیم دارد. مثلاً اگر توان در سرعت نامی ۱۰۰ کیلووات باشد، با کاهش سرعت به نصف سرعت نامی، توان مصرفی به یک چهارم حالت نامی، یعنی ۲۵ کیلووات خواهد رسید. به منظور کنترل مناسب و بهینه‌ی سرعت الکتروفن دمنده هوای فلر، یک درایو فرکانس متغیر^۲ از نوع کنترل همزمان ولتاژ و فرکانس و به شکل حلقه باز در نظر گرفته شده است. دلیل انتخاب این نوع کنترل اسکالر در این است که، کنترل همزمان ولتاژ و فرکانس به صورت حلقه باز برای کاربردهای با دینامیک پایین مانند پمپ و فن که تغییرات کوچک سرعت موتور با بار قابل تحمل است؛ مناسب می‌باشد. از دیدگاه بهره‌برداری، استفاده از درایو الکتریکی مزایای راه‌اندازی و توقف نرم را نیز در الکتروموتورها فراهم کرده و منجر به کاهش تنش‌ها و مشکلات مربوط با جریان راه‌اندازی و جریان قطع می‌گردد. در این تحقیق، بررسی در خصوص استفاده از درایو فرکانس متغیر در بهبود عملکرد دمنده‌ی فلر و تأثیر آن بر کاهش آلایندگی فلر به عنوان هدف اصلی جهت برآورده شدن شرایط ایمنی و زیست محیطی صورت پذیرفته است. همچنین بررسی در مورد مناسب بودن دمنده فلر موجود، به‌منظور بهره‌برداری به وسیله درایو فرکانس متغیر بررسی و در موارد مورد نیاز، بررسی میزان تغییرات در وضعیت سیستم موجود جهت اجرای این کار و ملاحظات لازم انجام شده است. مطابق اهداف این تحقیق به ریشه‌یابی عملکرد نامطلوب فلر پروپان واحد تبرید در پالایشگاه سوم عسلویه و سپس کنترل سرعت الکتروموتور دمنده فلر و ساختار و روش مناسب آن و پس از بیان معادلات احتراق

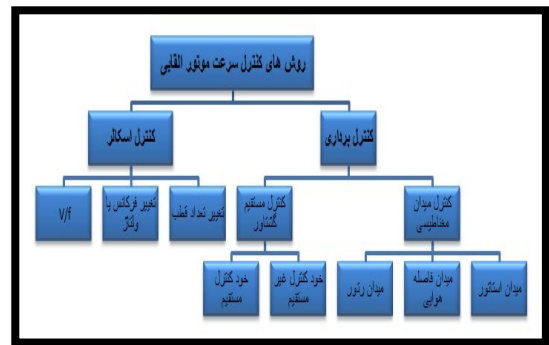
³ Low Heating Value

⁴ Heat Capacity Ratio



¹ Affinity Laws

² Variable Frequency Drive (VFD)



شکل (۱): انواع روش های کنترل سرعت موتورهای القایی سه فاز

وجود شرایط فوق و نیز طراحی نامناسب دمندهی فلر، منجر به عملکرد نامطلوب فلر شده است. به دلیل عدم تطابق مناسب بین سرعت دمندهی فلر و میزان فلرینگ، در برخی موارد، احتراق فلر همراه با دود و یا ارتعاش و صدای ناهنجار همراه است. الکتروموتور دمندهی فلر مورد مطالعه در این پژوهش از نوع قفس سنجابی و دو سرعته، دارای سیم پیچی از نوع دالاندر، با دور کند ۷۴۰ rpm و دور تند ۱۴۷۰ rpm و با توان ۱۳۰ کیلووات می باشد. جهت جلوگیری از خاموش شدن فلر (در زمانی که فلرینگ صفر است) و پاکسازی (پرچینگ) مسیرهای منتهی به فلر و نیز جلوگیری از برگشت شعله به داخل فلر، همواره مقداری گاز سوخت ۱ به فلر تزریق می گردد که مقدار آن در حدود ۱۵۰ کیلوگرم بر ساعت است. بنابراین حتی در حالتی که فلرینگ واحد نیز صفر می باشد، مجاز به متوقف کردن دمنده فلر نخواهیم بود. هر چند در وضعیت فعلی دمنده فلر با دور ثابت و کند ۷۴۰ rpm در سرویس قرار داده می شود، اما بدیهی است که در صورت وجود یک سیستم کنترل دور بر روی دمنده فلر، در زمان هایی که فلرینگ واحد صفر است، عملکرد فلر در دورهای پایین تر دمنده، مطلوب بوده و بنابراین از جنبه ی مصرف انرژی الکتریکی نیز شرایط کاری بهبود خواهد یافت. بدیهی است که مشکل اصلی در عملکرد نامطلوب فلر، عدم تناسب سرعت دمنده با میزان فلرینگ بوده و علت آن، عدم وجود یک سیستم کنترل دور بر روی دمنده فلر می باشد.

۲-۱- کنترل سرعت موتور القایی قفس سنجابی

همانطور که بیان شد مشکل اصلی در عملکرد نامطلوب فلر، ناشی از عدم وجود یک سیستم کنترل سرعت مناسب بر روی الکتروموتور دمندهی فلر می باشد. کنترل سرعت در کاربردهای صنعتی شامل انواع روش های مکانیکی، هیدرولیکی و الکتریکی می باشد که امروزه روش های الکتریکی به دلیل مزایای زیاد، رواج بیشتری دارد. یکی از مزایای مهم کنترل کننده های سرعت الکتریکی، استهلاک کم و هزینه تعمیر و نگهداری پایین تر به علت عدم وجود تجهیزات متحرک می باشد [۵]. هر چند امروزه روش های الکتریکی متنوع و مختلفی در مورد کنترل سرعت موتورهای صنعتی وجود دارد؛ اما در انتخاب نوع و روش مناسب کنترل سرعت، عوامل زیادی تأثیر گذار بوده که باید در نظر گرفته شود. برخی از این

عوامل وابسته به فرایندها و پروسه های صنعتی بوده و باید نیازهای مرتبط با آن را برآورده نمایند [۵]. کنترل سرعت موتورهای القایی به روش های مختلفی انجام می گیرد که به دو دسته ی روش های قدیم (اسکلر) و روش های جدید (برداری) قابل طبقه بندی است. روش های کنترل اسکلر، ساده تر و ارزان بوده ولی دارای محدودیت هایی در کنترل سرعت می باشند. روش های کنترل برداری پیچیده بوده اما در عوض کنترل سرعت با دقت بیشتر انجام شده و سرعت موتور از صفر تا بالاتر از سرعت نامی قابل کنترل خواهد بود [۱۰]. شکل (۱) دسته بندی روش های کنترل سرعت موتورهای القایی سه فاز را نشان داده است [۱۰]. از (۱) مشخص می گردد که برای تغییر سرعت در یک موتور سه فاز، می توان سه پارامتر فرکانس، لغزش و تعداد قطب سیم پیچی استاتور را تغییر داد. در ادامه یکی از روش های کاربردی کنترل سرعت در الکتروموتورهای القایی سه فاز، درایو فرکانس متغیر، تشریح خواهد شد.

$$n = (1 - s)n_s = \frac{(1 - s) \times 120 \times f}{p} \quad (۱)$$

در رابطه فوق p و s ، f ، n_s به ترتیب بیانگر سرعت، سرعت سنکرون، فرکانس، لغزش و تعداد قطب سیم پیچی استاتور هستند.

۲-۲- تشریح نمونه ای از یک کنترل سرعت با استفاده از درایو فرکانس متغیر

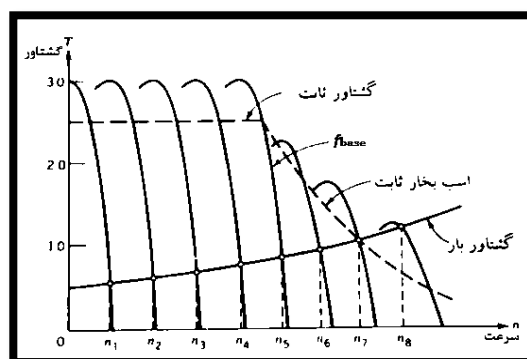
درایو یا کنترل کننده دور موتور الکتریکی، از تجهیزات پیچیده الکترونیک قدرت تشکیل شده و به دلیل وجود ساختاری استاتیک و عدم وجود قطعات متحرک، دارای عمر مفید بالایی می باشد [۱۰]. اساس کار درایوهای فرکانس متغیر بر کنترل همزمان ولتاژ و فرکانس و یا ولت بر هر ژت ثابت (شار ثابت)، بنا نهاده شده است. شکل (۲) مشخصه ی گشتاور سرعت موتور القایی سه فاز را در فرکانس های کاری مختلف نشان داده است. کنترل سرعت ماشین های القایی تا سرعت نامی بر اساس شار تقریباً ثابت و در سرعت بالاتر از سرعت نامی بر مبنای ولتاژ ثابت می باشد. در فرکانس مینا ولتاژ پایانه ی موتور به مقدار حداکثر خود می رسد. در فرکانس های کمتر از فرکانس مینا، شار فاصله هوایی با تغییر مناسب ولتاژ موتور نسبت به فرکانس، ثابت نگه داشته می شود. در این ناحیه گشتاور ماکزیمم ثابت بوده و به این دلیل از فرکانس صفر تا مینا، ناحیه ی گشتاور ثابت گفته می شود. در ناحیه فرکانس های بیشتر از فرکانس مینا، دیگر ولتاژ را نمی توان متناسب با فرکانس افزایش داد. در این ناحیه شار فاصله هوایی کاهش یافته و لذا گشتاور ماکزیمم نیز کاهش می یابد ولی متناسب با آن، سرعت نیز افزایش می یابد و با توجه به اینکه توان فاصله هوایی برابر است با حاصل ضرب گشتاور مکانیکی در سرعت، توان ثابت خواهد شد. به ناحیه کاری بالاتر از فرکانس مینا، ناحیه توان ثابت گفته می شود. سرعت های n_1 تا n_8 خیلی به سرعت های سنکرون مربوطه نزدیک بوده و لذا در این حالت کنترل سرعت، لغزش ماشین کوچک و بازده بسیار بالا خواهد بود [۱].

^۱ Fuel gas

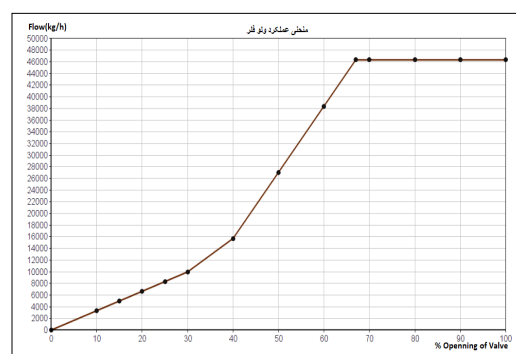


۳- تحلیل یافته‌ها

اولین کار در راستای بهینه‌سازی احتراق فلر، تعیین مقدار فلوی گاز ارسالی به سمت فلر می‌باشد. باید به این نکته توجه نمود که بر روی مسیرهای خروجی از مخازن ذخیره‌سازی به سمت فلر، تجهیزات ابزار دقیق به منظور سنجش میزان فلوی گاز وجود ندارد. نصب وسایل اندازه‌گیری فلو در جهت اجرای پروژه، علاوه بر مسئله هزینه با مسائل دیگری مانند ایمنی و تولید نیز مرتبط بوده که انگیزه‌ی اجرای طرح را در پالایشگاه و مجتمع کم رنگ کرده است. البته روش‌هایی برای تعیین فلوی گاز ارسالی به سمت فلر بدون نیاز به از سرویس خارج کردن فلر و یا وقفه در تولید وجود دارد اما هزینه‌ی اجرای آن بسیار بالا می‌باشد. مقدار گاز ارسالی از مخازن به سمت فلر، به کمک مشخصه‌های ولوهای کنترلی فلر قابل محاسبه می‌باشد. از این روش در واحد مهندسی فرآیند پالایشگاه به‌منظور تعیین تلفات گاز تولیدی در اثر فلرینگ استفاده می‌شود. در این روش با توجه به مشخصات فنی ولو کنترلی فلر، منحنی مشخصه‌ی عملکرد ولو بدست آمده و با توجه به میزان درصد باز بودن ولو فلر، فلوی عبوری از آن بر اساس کیلوگرم بر ساعت تعیین می‌گردد. فلوی گاز ارسالی به فلر با توجه به میزان باز بودن ولو فلر بدست آمده و در جدول (۲) و بر همین اساس، منحنی مشخصه‌ی عملکرد ولو فلر در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل (۲): مشخصه گشتاور- سرعت موتور القایی سه فاز [۱]



شکل (۳): منحنی مشخصه عملکرد ولو فلر

جدول (۲): میزان فلوی گاز فلر با توجه به مقدار درصد باز بودن ولو

مقدار درصد باز بودن ولو فلر = X	مقدار فلوی گاز ارسالی به فلر = Q
$0 \leq X \leq 37$	$Q = 332.49X$
$37 < X < 67$	$Q = 1134.7X - 29682$
$67 < X$	$Q = 46342$

۳-۲- بررسی معایب و برخی از ملاحظات فنی در

استفاده از VFD

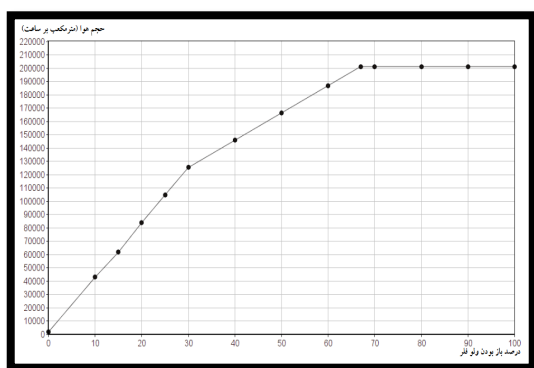
برخی از ویژگی‌های مهم برای عملکرد مناسب یک الکتروموتور در زمانی که توسط VFD کنترل می‌گردد اعم از گشتاور، دما، جریان، مقاومت در برابر کرونا، ولتاژ سوزنی و جریان شفت یا بیرینگ باید در نظر گرفته شود. موتوری که با یک VFD تغذیه می‌شود، همواره بدون هیچ مشکلی از نقطه بی‌باری تا نقطه‌ی گشتاور شکست بر روی منحنی گشتاور سرعت کار می‌کند. برخی از سازندگان، مناسب بودن موتور طراحی شده‌ی خود را جهت کار با سیستم VFD به وسیله‌ی قرار دادن برچسب‌هایی مانند VFD Duty یا Inverter Duty به بازار مصرف عرضه می‌کنند [۱۱-۱۶]. حداکثر توانایی موتور (گشتاور) در سرعت پایه رخ خواهد داد و توانایی آن در بالاتر از سرعت پایه کاهش خواهد یافت. حداکثر توانایی سرعت در یک موتور توسط قابلیت گشتاور الکتریکی با مسائل مکانیکی مانند نوع بلبرینگ، نوع گریس، محدودیت فن خنک‌کننده‌ی متصل به شفت، پایداری VFD و غیره محدود می‌شود [۱۱، ۱۵].

۳-۱- تعیین فلوی هوای جهت احتراق بهینه در فلر

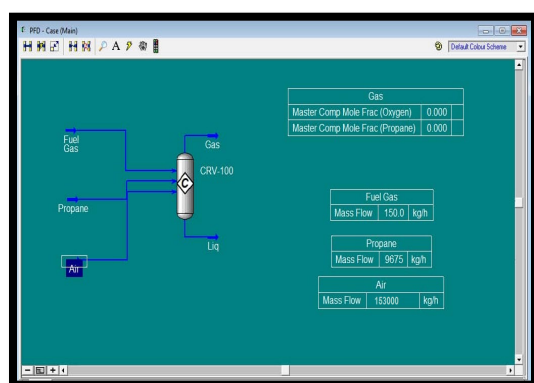
در این تحقیق، مقدار هوای مورد نیاز جهت احتراق مناسب فلر با استفاده از شبیه‌سازی فرآیند احتراق فلر، در نرم افزار Aspen Hysys محاسبه گردید. روش انجام این شبیه‌سازی به این صورت است که از قسمت لیست اجزاء، گازهای شرکت کننده در واکنش تعیین شده و در قسمت واکنش، دو واکنش احتراق متان و پروپان با درصد تبدیل ۱۰۰٪ تعریف شده‌است. علت ورود گاز متان در شبیه‌سازی، وجود جریان گاز متان به عنوان گاز جارو کننده^۱ و نگه‌دارنده شعله فلر^۲، در مسیر خطوط فلر می‌باشد. به دلیل ماهیت گازی سیال‌های شرکت کننده در واکنش، معادله حالت Peng Robinson انتخاب می‌گردد. پس از اعمال اطلاعات اولیه به نرم افزار، سه جریان ورودی با عنوان‌های هوا، سوخت متان و گاز پروپان برای آن تعریف می‌گردد. با توجه به شرایط واقعی و عملیاتی، بیشترین مشکل سیستم مربوط به فلرینگ گاز پروپان می‌باشد به طوری که در بیش از ۹۰٪ موارد فلرینگ، عامل موثر گاز پروپان می‌باشد. برای هوا ۷۹٪ نیتروژن و ۲۱٪ اکسیژن در نظر گرفته شده‌است. برای گاز متان ترکیب اجزای گاز صادراتی در شرایط نرمال در نظر گرفته شده‌است. ترکیب درصد اجزای گاز صادراتی در شرایط نرمال در جدول (۳) درج شده‌است. مقدار ترکیب درصد اجزای گاز صادراتی در شرایط مختلف عملیاتی دارای تغییرات جزئی می‌باشد.

¹ Sweeping Gas

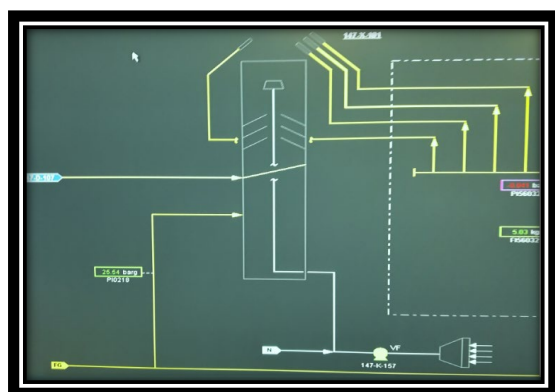
² Support Gas



شکل (۴): منحنی مقدار هوای لازم جهت احتراق بهینه فلر



شکل (۵): تصویری از محیط شبیه سازی احتراق فلر



شکل (۶): فلر واحد تبرید در DCS واحد

۳-۲- تعیین نقطه کار تنظیم سرعت دمندهی فلر

همانطور که قبلاً بیان شد، با توجه به قوانین افینیتی در فن‌ها، سرعت و فلوئی فن رابطه‌ای خطی دارند یعنی اگر سرعت فن دو برابر گردد، فلوئی سیال نیز دو برابر خواهد شد. چنانچه سرعت اولیه و فلوئی اولیه متناظر با آن موجود باشد به راحتی در فلوئی ثانویه، سرعت ثانویه متناظر با آن قابل محاسبه خواهد بود. پایه و اساس این کار استفاده از نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی احتراق فلرینگ در شرایط احتراق کامل و همچنین داده‌های حاصل شده از منحنی عملکرد ولو فلر می‌باشد. بر این اساس از روی منحنی عملکرد ولو فلر، حجم گاز ارسالی به سمت فلر مشخص شده و با مشخص بودن حجم گاز ارسالی به سمت فلر، حدود حجم هوای لازم جهت ایجاد احتراق کامل در فلر، با نتایج حاصل از شبیه‌سازی بدست خواهد آمد. با استفاده از مشخصه‌ی عملکرد فن دمندهی فلر که

جدول (۳): ترکیب درصد اجزای گاز صادراتی

مقدار اجزای گاز صادراتی	اجزای گاز صادراتی
89.4147 %MOL	متان
2.0417 %MOL	پروپان
.3378 %MOL	ایزو بوتان
.5583 %MOL	نرمال بوتان
3.0157 %MOL	اتان
3.5640 %MOL	نیتروژن
1.0648 %MOL	دی اکسید کربن

جدول (۴): مقدار هوای لازم جهت احتراق بهینه فلر با توجه به مقدار

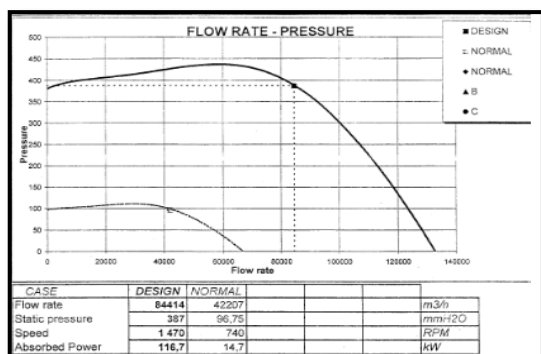
گاز ورودی به فلر

مقدار هوا جهت احتراق	مقدار هوا جهت احتراق	درصد باز بودن ولو فلر	مقدار گاز ورودی به فلر (kg/h)	مقدار گاز
کامل (sm ³ /h)	کامل (kg/h)		پروپان	متان
1918	2330	0	0	150
43030	52500	10	3324.9	150
61790	75400	15	4987.35	150
84000	102500	20	6649.8	150
104800	127900	25	8312.25	150
125400	153000	30	9974.7	150
145900	178000	40	15706	150
166400	203000	50	27053	150
186900	228000	60	38400	150
201250	245500	67	46343	150

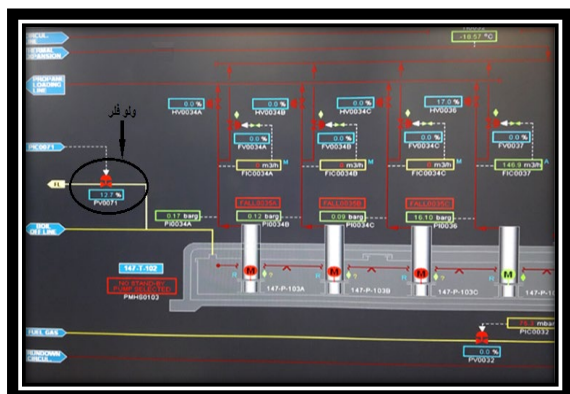
نهایتاً پس از وارد کردن داده‌ها و اعمال شرایط عملیاتی سیستم در نرم‌افزار، مقدار هوای لازم برای دستیابی به احتراق کامل با توجه به درصد باز بودن ولو فلر بدست می‌آید که نتایج آن در جدول (۴) و همچنین به صورت منحنی در شکل (۴) نشان داده شده است. با بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی مشاهده می‌گردد که میزان هوای لازم جهت احتراق کامل در فلر به صورت خطی با افزایش درصد باز شدن ولو فلر (افزایش فلرینگ) تغییر می‌نماید. همچنین مطابق با قوانین افینیتی، تغییرات فلو در فن‌ها با سرعت رابطه‌ای خطی دارد. بنابراین با اعمال کنترل سرعت مناسب، احتراق فلر به شکل مناسب کنترل می‌گردد. در شکل (۵) تصویری از محیط شبیه‌سازی احتراق فلر در نرم‌افزار Aspen Hysys نشان داده شده است. در شکل (۶) فلر واحد تبرید در DCS نشان داده شده است. با دقت در شکل‌های (۵) و (۶) می‌توان نزدیکی محیط شبیه‌سازی و محیط واقعی را دریافت نمود.



هوای لازم جهت احتراق بهینه در فلرینگ ۳۵٪ برابر با ۱۳۵۰۰ مترمکعب بدست خواهد آمد. همانطور که سرعت مناسب دمنده در دو وضعیت فلرینگ ۱۵٪ و ۲۵٪ بدست آمده است؛ به همان روش برای تمام وضعیت‌های فلرینگ، سرعت مناسب دمنده بدست خواهد آمد. نتایج حاصل به عنوان نقطه کار دمنده قابل استفاده بوده و در صورت نصب درایو جهت پروژه‌ی مورد بررسی، تنظیم سرعت به سهولت در اتاق کنترل محلی قابل انجام خواهد بود. در جدول (۵) نقطه کار دمنده در فلرینگ‌های مختلف نشان داده شده است. همانطور که در جدول نشان داده شده، دمنده‌ی فلر تا فلرینگ‌های زیر ۳۵٪ به‌طور مناسب عمل خواهد نمود.



شکل (۷): مشخصه عملکرد دمنده‌ی فلر [1]



شکل (۸): ولو فلر و مقدار باز بودن آن

جدول (۵): نقطه کار دمنده برای فلرینگ‌های مختلف

سرعت دمنده بر حسب r.p.m	درصد باز بودن ولو فلر
۲۵۰	۰
۲۵۰	۱۰
۳۳۰	۱۵
۷۱۹	۲۰
۱۰۷۶	۲۵
۱۴۳۵	۳۰
۱۶۰۰	۳۵
۱۷۹۲	۴۰

در شکل (۷) نشان داده شده، سرعت و فلو‌ی فن در دو سرعت تند و کند مشخص می‌باشد. با استفاده از نتایج جدول (۴)، رابطه‌ی سرعت و فلو‌ی فن و مشخصه عملکرد فن دمنده، سرعت مناسب دمنده جهت تولید فلو‌ی هوای لازم بدست خواهد آمد. با توجه به شرایط عملیاتی واحد می‌توان جدولی را جهت نقطه کار سرعت دمنده در درصد‌های مختلفی از باز بودن ولو فلر به‌منظور بهره‌برداری سریع و آسان در اختیار نفراست بهره‌بردار قرار داد. مقدار درصد باز شدن ولو فلر به‌صورت پیوسته در اتاق کنترل قابل مشاهده می‌باشد. در شکل (۸) مقدار باز بودن ولو فلر نشان داده شده است. با توجه به مشاهدات میدانی مشخص گردید که در صورت خاموش بودن دمنده‌ی فلر، فلرینگ‌های کمتر از ۱۰ درصد، با مشکلی مواجه نبوده و احتراق ناقص فلر بعد از آن آغاز می‌گردد. در این حالت هوای مورد نیاز جهت احتراق به صورت طبیعی از هوای محیط اطراف تأمین می‌گردد که حجم آن با توجه به نتایج جدول، در حدود ۴۳۰۰۰ مترمکعب بر ساعت می‌باشد. این حجم از هوا در زمان انجام محاسبات برای بدست آوردن سرعت مورد نیاز دمنده، کسر می‌گردد. هرچند در فلرینگ‌های زیر ۱۰٪ ممکن است به دمنده نیازی نباشد ولی به منظور اطمینان از آماده به کار بودن دمنده و پایداری شعله‌ی فلر و نیز جلوگیری از آسیب دیدن سیم‌پیچ‌ها و بیرینگ‌های الکتروموتور، لازم است دمنده‌ی فلر با یک سرعت کمینه‌ی مناسب در حدود ۲۵۰ دور بر دقیقه، در سرویس بماند. با توجه به اینکه الکتروموتور توسط فن متصل به شفت خنک می‌گردد، وجود این حداقل سرعت جهت خنک‌کنندگی مناسب لازم می‌باشد. محاسبه‌ی سرعت دمنده برای فلرینگ ۱۵٪ به صورت زیر می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده در جدول (۴) مقدار هوای لازم برای ایجاد احتراق کامل و بدون دود در فلرینگ ۱۵٪ برابر با ۶۱۷۹۰ مترمکعب بر ساعت می‌باشد.

$$\text{مقدار هوای لازم برای فلرینگ ۱۵\%} \Rightarrow 61790 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{مقدار هوایی که باید دمنده تأمین کند} = 61790 - 43000$$

$$\text{فلو دمنده در سرعت 740 r.p.m} \Rightarrow 42207 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{سرعت مورد نیاز دمنده برای فلرینگ ۱۵\%} \rightarrow \frac{N_1}{N_2} = \frac{Q_1}{Q_2}$$

$$\frac{740}{N_2} = \frac{42207}{18790}$$

$$\rightarrow N_2 = 330 \text{ r.p.m}$$

طبق جدول (۴) حجم هوای لازم جهت احتراق بهینه‌ی فلر در فلرینگ ۲۵٪ برابر با ۱۰۴۸۰۰ مترمکعب است و به روش مشابه سرعت دمنده برای فلرینگ ۲۵٪ قابل محاسبه می‌باشد که برابر است با:

$$\text{سرعت مورد نیاز} \rightarrow \frac{N_1}{N_2} = \frac{Q_1}{Q_2}$$

$$\rightarrow N_2 = 1076 \text{ r.p.m}$$

از محاسبه‌ی سرعت دمنده برای فلرینگ ۲۵٪ نتیجه می‌شود که حالت دور کند دمنده، پاسخگوی نیاز فلر برای احتراق کامل نبوده و دور تند دمنده نیز منجر به تأمین هوای بیش از حد لازم شده و باعث تولید آلودگی صوتی زیاد می‌گردد. از روی منحنی شکل (۴) مقدار

۳-۳- طراحی سیستم پیشنهادی

مهمترین مشکلات موجود جهت اجرای پروژه، نامناسب بودن کابل‌های قدرت و بیرینگ‌های الکتروموتور می‌باشد. با توجه به لزوم استفاده از درایو فرکانس متغیر جهت اجرای پروژه، به‌منظور کاهش مشکلات ناشی از آن، برخی تغییرات در سیستم موجود لازم خواهد بود. از آنجا که یکی از مشکلات مرتبط با کاربرد درایو، محدودیت طول کابل می‌باشد لذا با توجه به فاصله ۲۵۰ متری از ایستگاه برق محلی تا دمنده‌ی فلر، مشکل محدودیت طول کابل، قابل حل می‌باشد. بیشتر محصولات شرکت‌های معتبر قادر به پاسخگویی به این مورد خواهند بود. همچنین با توجه به اینکه حداقل سرعت دمنده ۲۵۰ r.p.m در نظر گرفته شده است و کلاس عایقی سیم پیچ الکتروموتور، F می‌باشد، مشکلات ناشی از ضعف خنک‌کنندگی در فن متصل به شفت را می‌توان نادیده گرفت. از طرف دیگر، با توجه به اینکه درایوها تولیدکننده‌ی امواج الکترومغناطیسی مخرب در سیستم‌های قدرت می‌باشند، باید از کابل‌هایی با شیلد کامل استفاده شود که تا حدودی از انتشار امواج الکترومغناطیسی جلوگیری کند. همچنین درایوها تولیدکننده‌ی پالس‌های لحظه‌ای در بیرینگ‌های الکتروموتور می‌باشند. وجود این پالس‌های لحظه‌ای باعث جاری شدن جریان در بیرینگ‌های موتور می‌شود. به علت ایجاد اختلاف ولتاژ مابین گوی‌های داخلی بیرینگ با غلاف آن، تخلیه ولتاژی و جرقه‌های ریز ولی مخرب زده می‌شود که پس از مدتی باعث خوردگی و خرابی بیرینگ‌های موتور می‌شود. راه حل این مشکل، استفاده از بیرینگ‌های ایزوله در موتورها به خصوص بیرینگ سمت موتور می‌باشد.

برای کاهش هزینه‌های اجرای طرح می‌توان با تغییر نوع بیرینگ‌ها و کابل قدرت موتور دمنده، از سیستم پیشنهادی استفاده کرد و با مجهز کردن مدار قدرت به یک درایو فرکانس متغیر، عملکرد سیستم موجود را بهینه کرد. دو حالت برای اجرای طرح قابل پیاده‌سازی می‌باشد. در حالت اول طرح می‌توان، توان درایو مورد نیاز را بر اساس توان نامی در حالت دور کند انتخاب کرد. در این حالت کنترل دور تا سرعت ۷۴۰ دور در دقیقه قابل دسترسی بوده و فلرینگ‌های صفر تا ۲۰٪ را به خوبی پوشش خواهد داد اما بر روی حالت دور تند موتور هیچ کنترلی نخواهیم داشت. با توجه به اینکه توان نامی دمنده در حالت دور کند تقریباً ۱۵ کیلووات و جریان نامی برابر با ۵۳ آمپر می‌باشد، درایوی با توان و جریانی بالاتر از این مقادیر و نزدیک به آن مناسب می‌باشد. به عنوان مثال اینورتر شرکت LS مدل iS7 که دارای کد شناسایی SV0220IS7-4 می‌باشد، گزینه‌ی مناسبی می‌تواند باشد. در شکل (۹) ساختار مدار قدرت جهت پیاده‌سازی حالت اول طرح نشان داده شده است. حالت دوم اجرای طرح، استفاده از درایو فرکانس متغیر جهت کنترل دور در هر دو حالت اتصال موتور می‌باشد. در این صورت هم در حالت دور کند و هم در حالت دور تند دمنده، کنترل سرعت به نحو مناسب قابل دسترسی بوده و کنترل سرعت دمنده و به تبع آن عملکرد فلر مطلوب خواهد شد. در شکل (۱۰) آرایش کلاف‌های موتور دالاندر در حالت‌های دور کند و دور تند نشان داده شده است. در شکل (۱۱) مدار قدرت پیشنهادی، جهت راه‌اندازی

موتور دالاندر در این طرح نشان داده شده است. در این شکل جهت دور کند موتور، تنها کنتاکتور K1M در مدار قرار گرفته و سرهای U_1 ، V_1 و W_1 را برقرار می‌کند. برای حالت دور تند، کنتاکتور K1M بی‌برق شده و ابتدا کنتاکتور K2M برقرار شده و سرهای U_1 ، V_1 و W_1 را اتصال کوتاه کرده و سپس کنتاکتور K3M برقرار شده و سرهای U_2 ، V_2 و W_2 را برقرار می‌کند. همانطور که اشاره شد، استقرار درایو در بخش مشترک مدار قدرت باعث می‌گردد درایو همزمان قابلیت کنترل در دو حالت دور کند و دور تند را داشته باشد. یکی از مزایای این طرح این است که در صورت نیاز به روشن و خاموش کردن دمنده و تغییر وضعیت از دور تند به دور کند و برعکس، می‌توان ابتدا دور الکتروموتور را در حالت مینیمم قرار داد. در این صورت از شک‌ها و صدمات الکتریکی ناشی از جریان‌های قطع و راه‌اندازی در زمان استارت و استاپ‌های مکرر، در سیم‌پیچ‌ها و کنتاکتورهای قدرت کاسته شده و آسیب‌های مکانیکی شفت و بیرینگ‌های دمنده نیز کمتر خواهد شد. به علت اینکه توان نامی موتور الکتریکی موجود در حالت دور تند برابر با ۱۳۲ کیلووات و جریان نامی آن برابر با ۲۳۶ آمپر می‌باشد؛ توان و جریان درایو فرکانس متغیر مورد نیاز باید کمی بیشتر از آن و نزدیک به آن باشد تا بتواند به صورت مناسب دمنده را تغذیه کند. هر چند ساختار نشان داده شده در شکل (۱۱) نیاز بهره‌برداران را در جهت کنترل بهینه در بازه‌ی وسیعتری از سرعت فراهم می‌سازد و امکان ظرفیت بی‌دود سازی فلر را افزایش می‌دهد، اما نصب درایو با توان ۱۶۰ کیلووات هزینه‌ی اجرای طرح را بالا خواهد برد.

در جدول (۶) درصد‌های مختلف فلرینگ و سرعت‌های مورد نیاز متناظر با آن، همراه با توان و گشتاور مصرفی مورد نیاز برای دمنده درج شده است. با توجه به داده‌های جدول (۶) به روشنی می‌توان دریافت که دمنده‌ی موجود توانایی تامین هوای لازم جهت احتراق فلر برای فلرینگ‌های کمتر از ۳۵٪ را دارا بوده و توانایی پاسخگویی به نیاز سیستم برای فلرینگ‌های بالاتر از آن را ندارد. برای اینکه سیستم موجود برای فلرینگ‌هایی تا حد ۴۰٪ نیز عملکرد مناسبی داشته باشد باید توان و دبی دمنده‌ی موجود افزایش یابد. اگر درایو فرکانس متغیر برای دمنده‌ی فعلی در نظر گرفته‌شود، در فرکانس پایه سرعت دمنده به ماکزیمم دور خود یعنی ۱۴۷۰ دور در دقیقه خواهد رسید. از این نقطه به بعد به دلیل ثابت ماندن ولتاژ، با افزایش فرکانس هرچند سرعت افزایش خواهد یافت، ولی الکتروموتور در ناحیه‌ی توان ثابت به کار خود ادامه خواهد داد. در این حالت گشتاور الکتروموتور کاهش خواهد یافت. افزایش سرعت بالاتر از سرعت پایه تا جایی که گشتاور تولیدی موتور از گشتاور بار بیشتر باشد، قابل انجام خواهد بود. البته در عمل حداکثر سرعت توسط فاکتورهای مکانیکی مانند نوع بیرینگ، نوع گریس و ارتعاشات مجاز محدود می‌گردد. با توجه به اینکه مقدار فلرینگ در شرایط نرمال نسبت به زمان راه‌اندازی پالایشگاه افزایش یافته، جهت بهره‌برداری مناسب نیاز به افزایش توان دمنده ضروری به نظر می‌رسد. از داده‌های جدول (۶) می‌توان جهت ارزیابی توان مورد نیاز و انتخاب الکتروموتور جدید استفاده کرد. برای انتخاب الکتروموتور ویژگی‌های متعددی را باید در نظر گرفت. عوامل مانند شرایط محل نصب، مشخصه



جدول (۶): توان و گشتاور مورد نیاز دمنده در سرعت‌های مختلف

گشتاور لازم (N.m)	توان مصرفی (KW)	سرعت بهینه دمنده (rpm)	درصد باز بودن ولو فلر
۲۱/۶۶	۰/۵۶۷	۲۵۰	۰
۲۱/۶۶	۰/۵۶۷	۲۵۰	۱۰
۳۷/۶۲	۱/۳۰	۳۳۰	۱۵
۱۷۹	۱۳/۴۸	۷۱۹	۲۰
۴۲۴/۵۱	۴۸/۹	۱۱۰۰	۲۵
۷۲۲/۴۲	۱۰۸/۵۶	۱۴۳۵	۳۰
۹۰۰/۳۳	۱۵۱/۰۴	۱۶۰۲	۳۵
۱۱۲۶/۵۲	۲۱۱/۴	۱۷۹۲	۴۰

۳-۴- تاثیر استفاده از درایو در کاهش مصرف انرژی-

دمنده

همانطور که قبلاً اشاره شد یکی از مهمترین مزایای استفاده از درایو، کاهش مصرف انرژی در موتورها می‌باشد. اگر سرعت الکتروموتور نصف شود توان مصرفی آن یک هشتم توان نامی خواهد شد. چنانچه ۸۰ درصد ایام سال شرایط بدون فلرینگ در نظر گرفته شود می‌توان میزان کاهش مصرف انرژی را برای سیستم فعلی و سیستم جدید مورد مطالعه، مقایسه کرد. مقدار انرژی مصرفی دمنده در زمان صفر بودن فلرینگ برای سیستم فعلی به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$0.8 \times 365 \times 24h = 7008$$

کارکرد دمنده در مدت زمان صفر

بودن فلرینگ (h)

$$14.7 \times 7008 = 103017.6 \text{ kwh}$$

مقدار انرژی مصرفی سالیانه توسط

دمنده (kwh)

در صورت پیاده سازی سیستم مجهز به درایو و در نظر گرفتن r.p.m ۲۵۰ به عنوان سرعت مینیمم، مقدار انرژی مصرفی دمنده در زمان صفر بودن فلرینگ برای سیستم پیشنهادی به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$p_2 = \left(\frac{250}{740}\right)^3 \times 14.7 = .567 \text{ kw}$$

توان مصرفی دمنده در

سرعت ۲۵۰ r.p.m

$$.567 \times 7008 = 3973.5 \text{ kwh}$$

مقدار انرژی مصرفی

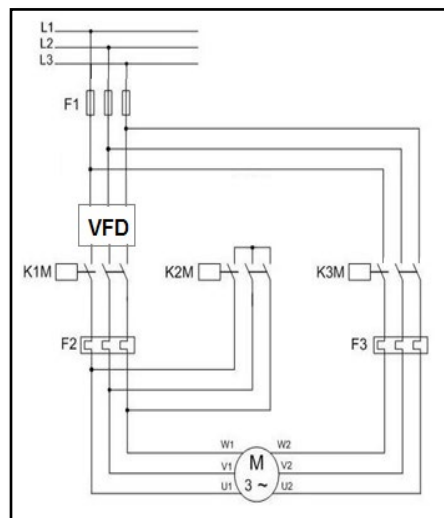
سالیانه توسط دمنده

با مقایسه‌ی دو حالت مختلف می‌توان دریافت که با به کارگیری سیستم مجهز به درایو، به میزان ۹۹۰۴۴ کیلو وات ساعت در طول سال در مصرف انرژی ظرفیت صرفه جویی وجود خواهد داشت.

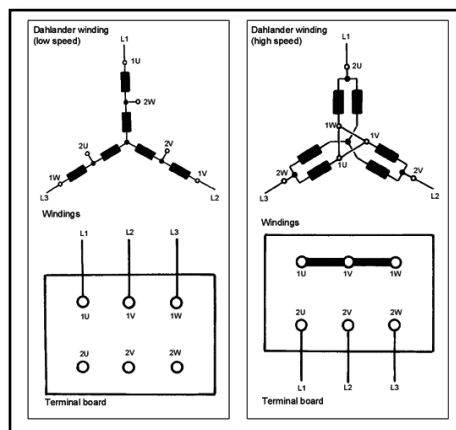
۴- نتیجه

مشاهدات میدانی در شرایط مختلف کاری فلر پروپان و بوتان نشان داده که در برخی شرایط عملیاتی، عملکرد فلر به صورت مطلوب صورت نگرفته که این امر منجر به نارضایتی‌های انسانی و آلودگی زیست محیطی و مشکلات دیگر شده است. در این پژوهش با بررسی سیستم فلر واحد تبرید و شبیه‌سازی احتراق کامل با استفاده از نرم افزار Aspen Hysys مقدار هوای لازم جهت احتراق بدون دود بدست آمد. سپس با استفاده از قوانین افینیتی و نتایج شبیه‌سازی، سرعت دمنده برای تأمین

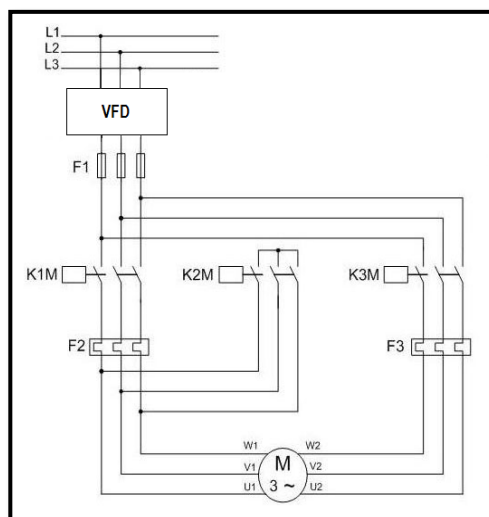
و شرایط بار، توان و گشتاور بر حسب نوع بار و روش بهره‌برداری در انتخاب نوع و ظرفیت موتور تاثیرگذار می‌باشند. الکتروموتورهای کلاس A و B در استاندارد NEMA برای کاربرد فن مناسب می‌باشند.



شکل (۹): مدار قدرت موتور دالاندر که اتصال دور کند آن با درایو تغذیه شده است.



شکل (۱۰): آرایش کلاف موتور دالاندر در دور کند و دور تند



شکل (۱۱): مدار قدرت موتور دالاندر تغذیه شده توسط VFD

Recovery and Liquefied Natural Gas Production (Doctoral dissertation, Lamar University-Beaumont). 2020.

- [7] H. A., Alhameedi, J. D., Smith, P., Ani, T. Powley, "Toward a Better Air-Assisted Flare Design for Safe and Efficient Operation during Purge Flow Conditions: Designing and Performance Testing". ACS omega, 7(47), 42793-42800. 2022. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c04618>.
- [8] T., Fallah, J., Belghaieb, N. Hajji, "Analysis and simulation of flare gas recovery in oil and gas producing company". Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 45(4), 9827-9833, 2023. <https://doi.org/10.1080/15567036.2019.1680772>.
- [9] CC. Chang, SS. Shieh, SS. Jang, CW. Wu, Y. Tsou, "Energy conservation improvement and ON-OFF switch times reduction for an existing VFD-fan-based cooling tower", Applied Energy, Volume 154, Pages 491-499, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.05.025>.
- [10] <http://barghnews.com/fa/news/32082/>-روش های-کنترل- موتور-القایی-بخش-اول.
- [11] D. Basso and P. Shah, "Specifying VFD driven low voltage motors for safety and operational life", Petroleum and Chemical Industry Technical Conference (PCIC), Philadelphia, PA, 19-22 Sept. 2016, pages 1-6. Doi: 10.1109/PCICON.2016.7589213.
- [12] P. van Rhyn, J. H. C. Pretorius, "Utilising high and premium efficiency three phase motors with VFDs in a public water supply system", 2015 IEEE 5th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives (POWERENG), Riga, Latvia, 11-13 May 2015, Pages 497-502. Doi:10.1109/PowerEng.2015.7266367.
- [13] Al Kalbani, H. "Lessons from a Year-Long Operation of an Atmospheric Pressure Flare Gas Recovery System". In SPE EOR Conference at Oil and Gas West Asia (p. D031S038R006). SPE, 2024. <https://doi.org/10.2118/218652-MS>.
- [14] Al Kalbani, H., Al Marhoobi, F., Al Siyabi, H., Al Shabibi, S., & Al Kiyumi, A., Achieving Zero Flaring through Oil Tanks Gas Recovery: Case Study from Oman. In Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference (p. D042S239R001). SPE., 2019. <https://doi.org/10.2118/197673-MS>.
- [15] Al-Fadhli, F. M., Torres, V. M., & Allen, D. T. , "Impacts of air-assist flare blower configurations on flaring emissions". Industrial & engineering chemistry research, 51(39), 12606-12610, 2012. <https://doi.org/10.1021/ie3012209>.
- [16] <https://hupaa.com/20000000000003001/AC> اساس موتورهای القایی.

این حجم از هوا جهت تحقق احتراق مناسب فلر بررسی گردید. با بررسی روش های مختلف کنترل سرعت در الکتروموتورهای القایی قفس سنجایی، استفاده از درایو فرکانس متغیر از نوع PWM به عنوان گزینه ای مناسب جهت دمنده ی مورد بررسی مطرح گردید. لازم به توضیح است مجهز کردن دمنده ی فلر به درایو علاوه بر بهبود عملکرد فلر منجر به صرفه جویی در مصرف انرژی الکتریکی و کاهش استهلاک الکتروموتور خواهد شد. به منظور طراحی و استفاده از یک الکتروموتور جدید علاوه بر لحاظ کردن مسایل فنی، مانند نوع سیکل کاری، کلاس عایقی، توان و گشتاور، درجه ی راندمان بین المللی، مناسب بودن الکتروموتور برای کاربرد در اینورتر و غیره، باید به استانداردهای شرکت ملی نفت از جمله ضد انفجار بودن تجهیزات نیز توجه گردد. عامل مهم در تعیین توان مورد نیاز دمنده مشخص کردن ظرفیت مورد نظر برای بی دودسازی فلر است. پس از انتخاب الکتروموتور مناسب، توان و مشخصات درایو فرکانس متغیر مورد نیاز قابل تعیین خواهد بود. در تعیین ظرفیت درایو مورد نیاز باید علاوه بر توان مورد نیاز به ماکزیمم جریانی که درایو ارائه می دهد نیز توجه کرد. یکی از بزرگترین مشکلاتی که درایوهای فرکانس متغیر مخصوصا نوع PWM در تاسیسات صنعتی ایجاد می کنند، تولید نویز و تداخلات الکترومغناطیسی با تجهیزات الکتریکی مجاور می باشد. به منظور برطرف کردن این مشکل و استقرار درایو در ایستگاه برق محلی، باید از یک محفظه با ایزولاسیون مناسب استفاده شود تا در عملکرد تجهیزات و سیستم های مجاور اختلال ایجاد نگردد. البته امروزه تولیدکنندگان درایو با توجه به پیشرفت های سریع، قادر به تولید درایوهایی با تولید نویز و هارمونی پایین بوده و نیاز بهره برداران را با توجه به گستره ی وسیع قیمت و کیفیت، مرتفع ساخته اند.

مراجع

- [۱] پ. س. سن. ماشینهای الکتریکی (تحلیل، بهره برداری، کنترل). ترجمه: مهرداد عابدی و محمد تقی نبوی. تهران: نشر کارآفرینان بصیر. چاپ هفتم (۱۳۸۱).
- [۲] دهقان پور، اباذر؛ ظریف، مهدی؛ قاسمی، ابوالفضل و جاویدی، محمد حسین، افزایش بهره وری پمپ های واحد الین نیروگاه مشهد با استفاده از درایوهای اینورتری. بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق، ۲۵ الی ۲۷ آبان ماه، تهران، شرکت توانیر، (۱۳۸۸).
- [3] E. Ifeanyichukwu, I. C. Stella, "Simulation of the Production of Liquefied Petroleum Gas (Lpg) from Flare Gas System", Journal of Oil and Gas Research Reviews, 3(1), 28-34.2023.
- [4] M. Soltanieh, A. Zohrabian, M. J. Gholipour, E. Kalnay, "A review of global gas flaring and venting and impact on the environment: Case study of Iran", International Journal of Greenhouse Gas Control, Volume 49, Pages 488-509, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2016.02.010>.
- [5] R. Saidur, S. Mekhilef, M.B. Ali, A. Safari, H.A. Mohammed, "Applications of variable speed drive (VSD) in electrical motors energy savings", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 16, Pages 543-550. 2012. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.08.020>.
- [6] M. Mazumder, Optimal Design and Operation for a Gas Processing Plant, Natural Gas Liquid Recovery, Flare Gas

