

اثر نشتی محفظه احتراق بر هامینگ

سجاد عتیقی

کارشناس فنی نیروگاه سیکل ترکیبی سمنگان (کرمانیان)

E-Mail: Sj.atighi@gmail.com

چکیده:

پایداری دینامیکی شعله محفظه احتراق سمت راست این واحد به وجود آمد، که با بررسی و رفع نشتی موجود، این پارامتر به حالت پایدار رسید.

این مطلب سعی بر آن دارد علاوه بر توضیح طبیعت دینامیکی شعله و صداها تولید شده به هنگام فرایند احتراق، ناپایداری های دینامیکی شعله و به تبع آن تغییرات هامینگ در زمان راه اندازی واحد دوم گازی به هنگام تغییر مود از حالت دیفیوژن به پریمیکس نیروگاه سمنگان که بر اثر نشتی رینگ-سیل^۴ متعلق به تاپ-دام^۵ محفظه احتراق سمت راست این توربین گازی محتمل است را مورد بررسی قرار دهد.

واژه های کلیدی:

موج رانده شده احتراق^۶، پایداری شعله^۷، محفظه احتراق^۸، هامینگ^۹، پره هادی هوای ورودی^{۱۰}

مقدمه:

جهت بهره برداری سبب از واحدهای گازی نیروگاهی و کاهش انتشار گازهای آلوده، شناخت ماهیت شعله و نحوه چگونگی تشکیل آن، جهت کنترل و کاهش انتشار گازهای خروجی از آگروز ضروری به نظر می رسد. بهره برداری توربین گازی با استفاده از هوای اتمسفر به عنوان سیال عامل و تزریق مستقیم سوخت به داخل هوای فشرده انجام می گیرد. تعیین ماهیت شعله و نحوه چگونگی تشکیل آن در حالت استفاده از سوخت گاز طبیعی از دو دیدگاه:

- استوکیومتری سوخت

کیفیت دینامیکی شعله و پایداری آن یکی از مهمترین پارامترهای تاثیرگذار جهت بهره برداری سبب از توربین های گازی به شمار می رود. نحوه ترکیب سوخت و هوا در مسیرهای مشخص، نوع شعله و استوکیومتری سوخت را مشخص می کند. تشکیل شعله توربین های گازی در دو حالت دیفیوژن و پریمیکس^۱ انجام می پذیرد که شعله در حالت پریمیکس ناپایداری بیشتری را بروز می دهد. جهت کنترل آلایندهی ها ناشی از سوخت گاز طبیعی یا سوخت مایع (گازوئیل) واحدهای گازی نیروگاه سمنگان مجهز به هیبرید برنرهای سیستم دی.ال.ان^۲ می باشند، که قادر به عملکرد در هر دو مود دیفیوژن^۳ و پریمیکس برای استفاده از هر دو نوع سوخت گاز و سوخت مایع (گازوئیل) هستند. سیستم دی.ال.ان. در مود پریمیکس دارای مشکلات دینامیکی شعله است. همیشه افزایش میزان تراکم هوا در محفظه احتراق توربین گاز به هر علت، به سبب بالا بودن دبی جرمی و فشار هوا باعث نمایش عدم پایداری دینامیکی شعله می شود. یکی از راه های کنترل دینامیکی شعله (پایداری شعله) استفاده از سیستم ترموآکوستیک هامینگ است که این سیستم با اندازه گیری فشار موج رانده شده حاصل از احتراق در محدوده شعله محفظه احتراق، کیفیت دینامیکی شعله را مشخص می کند. موج رانده شده احتراق باعث ناپایداری شعله می گردد و در صورت ادامه این فرایند با تشکیل حلقه خود-تحریک شونده بازخورد داری دامنه ناپایداری افزایش می یابد. بهره برداری توربین گازی با استفاده از هوای اتمسفر به عنوان سیال عامل و تزریق مستقیم سوخت به داخل هوای فشرده شده انجام می پذیرد. پایداری شعله تحت تاثیر پارامترهای کنترلی از قبیل برابری نسبت مخلوط سوخت/هوای متراکم، دمای محیط و رطوبت قرار دارد. در زمان راه اندازی واحد دوم گازی نیروگاه سمنگان و تغییر حالت از مود دیفیوژن به پریمیکس تغییراتی در

⁴ Ring-Seal

⁵ Top-Dome

⁶ Combustion Oscillation Driven

⁷ Flame Instability

⁸ Combustion Chamber

⁹ Humming

¹⁰ I.G.V. : Inlet Guide Vane

¹ Pre-Mix

² D.L.N. : Dry Low NO_x Emission

³ Diffusion

- کیفیت ترمودینامیکی شعله

قابل بررسی است. استوکبومتری سوخت به ترکیب شیمیایی سوخت/ هوا و نحوه ترکیب آن ها بستگی دارد. در حالت ترمودینامیکی، پایداری دینامیکی شعله به دبی ورودی هوا، سوخت (گاز طبیعی) و نحوه ترکیب آن بستگی دارد. نحوه ترکیب و مقدار دبی سوخت ورودی در دو حالت دیفیوژن و پریمیکس با یکدیگر متفاوت است. در ادامه بحث، بررسی ترمودینامیکی این موارد انجام خواهد شد.

نحوه تشکیل شعله:

با ترکیب مشخصی از هوای اتمسفر که در اثر عبور از کمپرسور متراکم شده به عنوان سیال عامل، سوخت و استفاده از نیروی محرک اولیه (جرقه) می توانیم تولید گرما داشته باشیم. هنگام ترکیب شیمیایی سوخت و هوای متراکم علاوه بر تولید گرما، تولید صدا نیز از محصولات این فرایند است. حین انجام این فرایند، مولکول های سوخت و مولکول های هوای متراکم با هم ترکیب شده و اشتعالی در مدت زمان بسیار کوتاه انجام می گیرد. زمان این اشتعال بسیار کوتاه است و خود را به صورت انفجاری در محفظه احتراق نشان می دهد. امواج ساطع شده از این انفجار به صورت موج های فشاری سه - بعدی^{۱۱} در محفظه احتراق پخش می شوند. این امواج به صورت صوتی و به تبع ماهیت موجی دارای دامنه، فرکانس و فشار مشخص هستند و به دو نوع نعره احتراق و موج رانده شده احتراق تقسیم می شود.

- نعره احتراق^{۱۲}:

این نوع صدا در اثر نوسانات جریان مغتشش شعله بوجود می آید و به صورت ذاتی در ماهیت شعله موجود است. این نوع صدا مستقل از ویژگی آکوستیکی محفظه احتراق می باشد و تاثیری بر روی ناپایداری دینامیکی شعله نمی گذارد. از دیدگاه آکادمیک مطالعه این نوع صدا از این نظر که می تواند به عنوان "اثر انگشت"^{۱۳} اغتشاش در شعله در نظر گرفته شود حائز اهمیت است. می توان جهت تعیین کیفیت شعله از اندازه گیری های صوتی استفاده نمود. این نوع صدا دارای ماهیتی شیمیایی است و در یک فرایند سریع اتفاق می افتد. جهت آنالیز و فرمولیزه کردن آن می توان از معادلات دینامیک سیالات محاسباتی^{۱۴} حالت پایدار استفاده کرد. این امواج در یک- بعد^{۱۵} انتشار می یابند و هنگام استفاده از سوخت حاوی متان، صداهای تولیدی متفاوتی از خود نشان می دهند.

- موج رانده شده احتراق: موج رانده شده احتراق شامل یک چرخه تغذیه

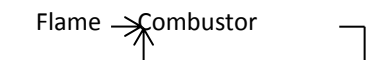
شونده^{۱۶} است که انرژی شیمیایی را به انرژی نوسانی تبدیل می کند. موج رانده شده احتراق همواره شامل یک فرکانس خاص (یا بیشتر) است که دامنه انتشار این امواج افزایشی است و به عنوان تابعی از میدان فشار آکوستیک داخل محفظه احتراق تعریف می شود. دامنه فشار در این فرکانس می تواند بسیار زیاد باشد حتی در مواردی خاص این مقدار به بیش از ۵۰٪ فشار متوسط در محفظه احتراق رسیده است. این دامنه های بزرگ فشاری می توانند سبب تخریب های جدی به تجهیزات احتراق شوند. تابع انتقال حرارت


تولید گرمای نوسانی بوسیله شعله، به عنوان تابعی از نوسان سوخت یا سرعت هوای ورودی می باشد.

در شعله ناپایدار چگالی نوسانات به عنوان منبع حجمی از صدا عمل می کند (حجمی از صدا با چگالی در حالت رفت و برگشتی آن). دلیل اصلی چگالی نوسانات، نوسانات به هنگام تولید گرماست. تفاوت بین نعره احتراق و موج رانده شده احتراق به ریشه تولید این گرماهای نوسانی باز می گردد:

در نعره احتراق چگالی نوسان توسط ذات نوسانی جریان مغتشش شعله به هنگام تولید گرما بازمی گردد.

در حالت موج رانده شده احتراق، تولید گرمای شعله به پدیده آکوستیک در محفظه احتراق به علت ایجاد یک حلقه تغذیه شونده بین آکوستیک صدا و بازگشت احتراق بستگی دارد. با ساطع شدن این امواج صوتی در محفظه احتراق بعد از برخورد به دیواره محفظه و بازگشت به سوی شعله، باعث تخریب آن می شوند.

(1) 

(2) 

این گراف ساده شماتیک تفاوت بین حالت نعره احتراق و نوسان رانده شده احتراق را نشان می دهد. گراف ۱ مربوط به نعره احتراق و گراف ۲ مربوط به موج رانده شده احتراق می باشد. همانطور که مشخص است، در گراف ۲ (موج رانده شده احتراق) تغذیه ای از آکوستیک به شعله وجود دارد.

کنترل دینامیکی شعله:
جهت پایش پایداری شعله، کنترل دینامیکی آن یکی از مسائل مهم و ضروری به حساب می آید. کنترل دینامیکی شعله به سه صورت قابل انجام است:

- فرکانس موج برگشتی شعله به چه مقدار است؟
- تحت چه شرایطی برگشت اتفاق می افتد؟

¹¹ 3-Dimensional

¹² Combustion Roar

¹³ Finger Print

¹⁴ C.F.D. : Computational Fluid Dynamic

¹⁵ 1-Dimensional

¹⁶ Feed-Back



- دامنه موج برگشتی به چه مقدار است؟

موج رانده شده احتراق^{۱۷}:

کنترل بازگشت موج احتراق؛ اغلب به هامینگ ارجاع داده می شود؛ یکی از راه های کنترل شعله است. این ناپایداری توسط موج های رانده شده احتراق و بوسیله پارامترهای : فشار، مقدار جریان و مقدار تولید گرما، تعریف می شود. موج رانده شده گرما و نتایج ساختار ارتعاشی آن، می تواند سبب خستگی و ترک خوردگی در برنر ها، افزایش انتقال حرارت در لاینرهای محفظه احتراق و تحت تاثیر قرار گرفتن عملکرد کلی سیستم شود. در حالی که این تغییرات در راکت ها و رام جت ها می تواند دارای دامنه بزرگ و تاثیرات مضر باشد، اما در سیستم های توربین گازی به نسبت راکت ها و رام جت ها دارای دامنه آرام تری است. اما نیاز به بهره برداری از سیستم توربین برای هزاران ساعت متوالی بدون نگهداری و تعمیرات دوره ای یا اور هال کردن سیستم، اهمیت این پدیده را مشخص می کند.

دو نوع فرایند مسئول بوجود آمدن مشکل هامینگ هستند:

- شعله نسبت به ناپایداری های آکوستیکی حساس است. (این پدیده را با نزدیک کردن یک دستگاه باس صدا به شعله شمع یا شعله اجاق گاز می توان مشاهده کرد.)
- محفظه احتراق از لحاظ آکوستیکی بسته است.

در ابتدا موج های صوتی در محفظه احتراق تولید شده که به طور نسبی مقداری از آن از بین می رود و باقی آن با برخورد به مرزهای محفظه احتراق بازتاب می یابد. دلیل اصلی چگالی نوسان، نوسانات هنگام تولید گرماس. اگر انرژی نوسانی به هنگام تولید گرما بیش از میرا شدن آن باشد، انرژی نوسانی در طول زمان رشد می کند و باعث افزایش ناپایداری شعله می گردد. این نوسانات باعث تخریب شعله و تولید گرمای نوسانی می شوند، تولید گرمای نوسانی امواج آکوستیکی را تولید می کند که از شعله ساطع شده اند و پس از برخورد با مرزهای محفظه احتراق و بازگشت به سمت شعله باعث تولید گرمای نوسانی فزاینده می شوند.

این حالت بسته به فاز نسبی فشار و تولید گرمای بازگشتی، یک حلقه بسته بازخورددار خود- تحریک شونده خلق می شود. این حلقه با کمک تغذیه برگشتی قبل از اشباع چرخه باعث افزایش دامنه این موج های رانده شده احتراق می شود. معمولا این موج های بازگشتی در فرکانس هایی که با مودهای فرکانس طبیعی محفظه احتراق برابر هستند، جمع می شوند. ساختار حلقوی خودتحریک شونده که در هر لحظه از بیرون تغذیه می شود. به طور شماتیک در شکل زیر نشان داده شده است.

تصویر ۱ : چرخه بسته خود-تحریک شونده تغذیه شونده از بیرون برای زوج آکوستیکال پدید آورنده موج رانده شده احتراق

موج رانده شده احتراق پرمیکس:

در مود احتراق پرمیکس بوجود آمدن موج های رانده شده احتراق در یک نسبت سوخت/هوای متراکم جلب توجه می کند.

اگر مقدار جریان نسبی هوا و سوخت طی زمان ثابت باقی بماند، نسبت سوخت/هوای متراکم نیز ثابت باقی می ماند.

به هر روی جریان و فشار بازگشتی در طول ناپایداری شعله، باعث عدم توازن در نسبت این مقدار جریان سوخت/هوای متراکم می شود. به عنوان مثال بازتابش فشار در برنر های پرمیکس سبب افت فشار در انژکتورهای سوخت و در نتیجه بازگشت سوخت در برنرها می شود. این فشار بازگشتی علاوه بر تولید گرمای تخریبی باعث مصرف جریان بیشتر و ایجاد فشار تخریبی فزاینده، باعث تشکیل چرخه بسته خود-تحریک شونده خواهد شد.

آنالیز این ساختار نشان می دهد، تاخیری بین زمان تزریق سوخت به داخل کانال پرمیکس و تشکیل شعله وجود دارد که باعث ایجاد یک خود-تحریکی در موج های رانده شده با فرکانس "۴" می گردد.

این تاخیر به عنوان زمان همرفتی شناخته می شود و به وسیله سرعت هوا در برنرهای پرمیکس و در طول این کانال، کنترل می شود. به عبارت دیگر: اجزا تشکیل دهنده احتراق، قبل از ورود به محفظه احتراق بر پایداری شعله تاثیرگذار هستند.

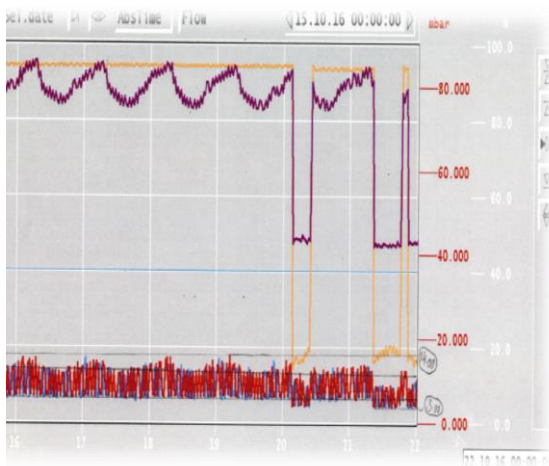
به این دلیل که زمان همرفتی بسته به مکان فیزیکی شعله است، پایداری نیز تحت تاثیر پارامترهای کنترلی از قبیل : نسبت برابری مخلوط سوخت/هوای متراکم، دمای محیط ، ویژگی زمانی و رطوبت قرار دارد.

- دما:

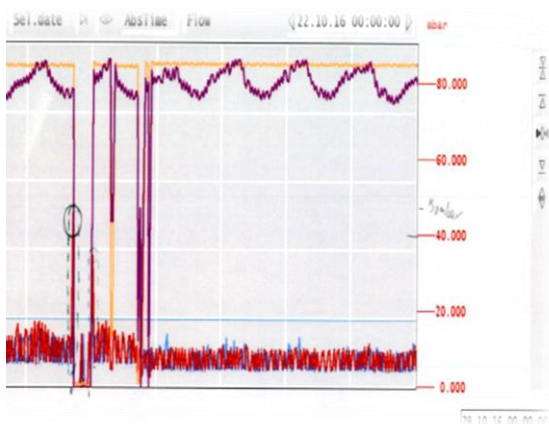
آزمایشات متعدد انجام شده جهت محاسبه اثر دمای ورودی بر ویژگی های پایداری احتراق نشان دهنده این موضوع است که احتراق در دمای بالای ۲۷۳ کلوین^{۱۸} ناپایدار و در دمای ۳۹۴ کلوین به صورت نسبی پایدار است.

- ویژگی زمانی:

در زمان راه اندازی واحد دوم گازی نیروگاه سمنگان، و به هنگام تغییر حالت از دیفیوژن به پرمیکس با پایش پارامتر هامینگ، مشخص شد به علت تغییرات دامنه هامینگ یک ناپایداری در شعله محفظه احتراق سمت راست این واحد وجود دارد، این تغییرات در محدوده مجاز قرار داشت، اما در مقایسه با حالت دیفیوژن یا محفظه احتراق سمت چپ دامنه فشار بیشتری را شامل می شد. با پایش چند روزه هامینگ و جستجو جهت رفع مشکل، مشخص شد رینگ-سیل، تاپ-دام این محفظه دچار نشستی جزئی است و باعث ایجاد تغییراتی در هوای متراکم ورودی به برنر پرمیکس می شود، و احتمالاً با ایجاد تغییر در فشار هوای متراکم و به تبع آن تغییر در نسبت سوخت/هوای متراکم ورودی به برنر پرمیکس باعث ناپایداری شعله شود. در تایید این مدعا هر بار به هنگام افزایش این ناپایداری، با اعمال کاهش در هوای ورودی به کمپرسور و به تبع آن کنترل هوای متراکم ورودی و ثابت نگه داشتن نسبت سوخت/هوای متراکم؛ این ناپایداری کنترل می شد.



تصویر ۲ : ترند هفت روزه هامینگ و مکان قرارگیری پره های هادی هوای ورودی در مود دیفیوژن از تاریخ ۱۵،۱۰،۲۰۱۶



تصویر ۳ : ترند هفت روزه هامینگ و مکان قرارگیری پره های هادی هوای ورودی در مود پرمیکس از تاریخ ۲۲،۱۰،۲۰۱۶

به عنوان مجموع زمان تبخیر سوخت، مخلوط شدن سوخت/هوای متراکم و زمان رسیدن محصولات احتراق به یک دمای بحرانی جهت انجام واکنش شیمیایی تعریف می شود.

$$T_{\text{combustion}} = T_{\text{mixing}} + T_{\text{evap.}} + T_{\text{reaction}} \quad (1)$$

در آن دسته از سیستم های زمانی که مجموع زمان احتراق با زمان اکوستیک برابر می شود، سیستم به سمت ناپایداری پیش می رود. در معادله شماره (۱)، افزایش دمای ورودی باعث کاهش ترم مربوط به دمای واکنش^{۱۹} و در نتیجه کاهش زمان احتراق^{۲۰} می گردد. ثابت شده است که افزایش فشار احتراق باعث افزایش شیب واکنش شیمیایی و کاهش بازگشت اکوستیک می شود. در صورت ثابت ماندن نسبت سوخت/هوای متراکم، شیب تولید گرما مستقیماً به فشار بستگی می کند. لازم به ذکر است که هر تغییری در ویژگی زمان احتراق می تواند حالت احتراق را از پایداری به ناپایداری یا بالعکس تغییر دهد.

ساختار دیگری که عقیده بر اهمیت آن است، تخریب شعله بوسیله جریان بازگشتی جلوی آن است. این جریان بازگشتی می تواند به وسیله دو عامل زیر بوجود آید:

- سرعت اکوستیکی بازگشتی که توسط فشارهای غیر نرمال تولید می گردد.
- گردابه هایی که بوسیله جریان به وجود می آیند.

استراتژی های محدود کننده این ناپایداری ها در دو راه حل زیر خلاصه می شوند:

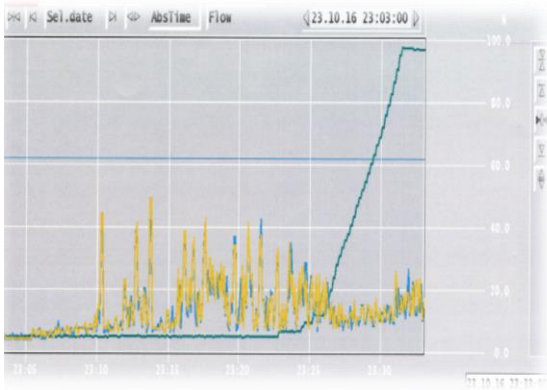
۱. دنبال کردن جریان جهت لایه ای کردن جریان و محدود کردن ساختار خود تحریکی
۲. افزایش میرایی اکوستیکی در برنرها به طوری که جریان های بازگشتی سریع تر از تولید شدن شان میرا شوند.

توضیح بیشتر این موارد در این مطلب نمی گنجد.

با همه توضیحات ارائه شده؛ کلی سازی تاثیر دمای ورودی یا در واقع هر پارامتر دیگری بر روی موج رانده شده احتراق کار مشکل و پیچیده ای است. تمامی راه حل های بهره برداری پایدار از شعله به وسیله سعی و خطا در طول زمان بهره برداری و در مکان نیروگاه انجام می پذیرد. تا به امروز پیش بینی دقیق این مورد که کدام پارامتر باعث پایداری یا عدم پایداری در شعله می شود، فراهم نشده است. لذا در این مطلب سعی شده است اثرات نشستی محفظه احتراق بر پایداری دینامیکی شعله (هامینگ) به طور تجربی مورد پایش قرار گیرد.

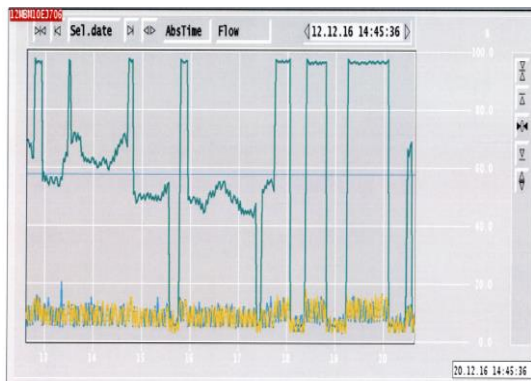
اثر نشستی تاپ-دام محفظه احتراق

¹⁹ T_{Reaction}
²⁰ $T_{\text{Combustion}}$



تصویر ۵ : ترند هامینگ و مکان قرارگیری پره های هادی هوای ورودی در مود پرمیکس ۲۳،۱۰،۲۰۱۶ ساعت ۲۳،۳۳ به مدت ۳۰ دقیقه در تاریخ

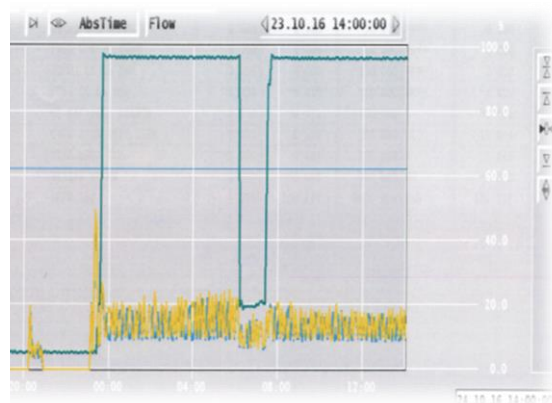
با نگاهی دقیق تر به این دامنه نوسانات در بازه های زمانی کوتاه تر مقدار زیاد دامنه نوسان مشخص می باشد. در تصویر چهارم و پنجم نمودار زرد رنگ مربوط به هامینگ محافظه احتراق سمت راست و نمودار آبی رنگ مربوط به هامینگ محافظه احتراق سمت چپ را نشان داده است. لذا با به قطعیت رسیدن این مورد که ناپایداری شعله متأثر از نشستی محافظه احتراق است، با تعویض رینگ - سیل محافظه احتراق، در سرویس قرار گرفتن مجدد واحد و پایش دوباره هامینگ مشخص شد که دامنه تغییرات هامینگ در حالت پایداری قرار گرفته است و شعله تولیدی این محافظه احتراق به پایداری رسیده است. ترند هشت روزه هامینگ محافظه های راست و چپ این واحد پس از رفع نشستی، به صورت زیر است.



تصویر ۶ : ترند هشت روزه هامینگ و مکان قرارگیری پره های هادی هوای ورودی در مود پرمیکس در تاریخ ۱۲،۱۲،۲۰۱۶

در گراف بالا نمودار زرد رنگ مربوط به هامینگ محافظه احتراق راست، نمودار آبی رنگ مربوط به محافظه احتراق سمت چپ و نمودار سبز رنگ تغییرات مکان قرارگیری پره های هادی هوای ورودی را نشان می دهد. همانطور که مشخص است با دامنه تغییرات هامینگ در حالت پایداری و به طور میانگین بین ۱۸-۵ میلی بار است که با تغییرات در مقدار هوای ورودی (از

در دو تصویر بالا گراف هفت روزه هامینگ و نحوه قرارگیری پره های هادی هوای ورودی ($I.G.V^{21}$) پرمیکس نشان داده شده است. نمودار قرمز رنگ مربوط به هامینگ محافظه احتراق سمت راست، نمودار آبی رنگ مربوط به هامینگ محافظه احتراق سمت چپ و نمودار زرد رنگ مربوط به مکان قرارگیری پره های هادی هوای ورودی را نمایش می دهد. همانطور که مشخص است دامنه تغییر فشار هامینگ در مود دیفیوژن بین ۲۰-۰ میلی بار^{۲۲} در حال نوسان است (تصویر ۲). اما در ابتدای تغییر حالت به مود پرمیکس دامنه تغییر نوسانات فشار تا ۴۵ میلی بار نیز رسیده است (تصویر ۳) که افزایش دامنه نوسانات ناپایداری شعله را به دنبال داشته است. پس از تغییر مکان پره های هادی هوای ورودی این دامنه کاهش یافته است. محدوده استاندارد تعریف شده تغییرات هامینگ ۰،۸ - ۰ میلی بار می باشد که در بدترین حالت هامینگ این محافظه به مقدار ۵۰ میلی بار رسیده است. با وجود این که مقادیر آن در بازه تعریف شده هامینگ قرار دارد، اما تغییرات نوسانی این مقادیر نگران کننده است. همانطور که مشخص است به هنگام افزایش دامنه هامینگ با کاهش هوای ورودی از طریق کنترل مکان قرار گیری پره های هادی هوای ورودی مجدداً دامنه هامینگ کاهش یافته است.



تصویر ۴ : ترند یک روزه هامینگ و مکان قرارگیری پره های هادی هوای ورودی، در مود پرمیکس در تاریخ ۲۳،۱۰،۲۰۱۶

²¹ Inlet Guide Vane
²² mbar

طریق پره های هادی هوای ورودی، دامنه فشار تغییرات زیادی را تجربه نکرده است.

نتیجه گیری:

جهت بهره برداری سبب از واحد های گازی نیروگاه و کاهش انتشار NO_x ، استفاده از برنرهای پرمیکس ضروری به نظر می رسد که این مهم در نیروگاه سمنگان با استفاده از هیبرید - برنرهای طرح دی.ال.ان. محقق شده است. در حالت پرمیکس کیفیت دینامیکی شعله حساس تر و ناپایداری آن افزایش می یابد. یکی از پارامترهای تاثیرگذار در ناپایداری شعله، موج رانده شده احتراق می باشد. این موج بسته به آکوستیک محفظه احتراق می تواند در ناپایداری شعله نقش مهمی را ایفا کند. با بازگشت موج احتراق به سمت شعله، ناپایداری شعله شروع می شود، در اثر ناپایداری شعله مقداری از احتراق خارج از محدوده شعله اتفاق می افتد و این رخداد باعث ایجاد موج های احتراقی بازگشتی با دامنه فشاری بزرگتر می شود که با

بازگشت این امواج به سمت شعله ناپایداری شعله به صورت فزاینده ای افزایش می یابد. ادامه این فرایند باعث ایجاد حلقه بسته خود-تحریک فزاینده ای می شود، که ناپایداری شعله را افزایش می دهد. تولید موج رانده شده احتراق به عوامل زیادی بستگی دارد، که نمی توان آنها را به طور قطع و سیستماتیک بیان کرد. اما در حالت آزمایشگاهی و پایش لحظه ای می توان تاثیر آنها را مشخص کرد. عوامل خارجی تاثیرگذار بر ناپایداری شعله که با تحت تاثیر قرار دادن مخلوط سوخت/هوای متراکم ایجاد می شوند: دما، ویژگی زمانی، فشار، دمای محیط و رطوبت هستند. در محفظه احتراق سمت راست واحد دوم گازی نیروگاه سمنگان به دلیل نشتی تاپ دام این واحد و تغییراتی ناخواسته در فشار و تغییر در مقدار جریان هوا و عدم توازن نسبت سوخت/هوای متراکم به هنگام استفاده از مود پرمیکس، ناپایداری هایی در شعله این محفظه احتراق مشاهده شد. پس از رفع نشتی و پایش مجدد شعله مشخص شد این ناپایداری از بین رفته است و شعله در حالت پایدار قرار دارد.

مراجع:

1- Combustion Driven Oscillation in the Gas Turbines, Dr.Tim lieuwen, Georgia institute of technology, turbomachinery international. January/February 2003, Page:

16~18

2- On The acoustic of turbulent non-Premixed Flames, S.A.Klein, I.S.B.N.: 90-36514096, Deventer, December 1999, Copyright©2000 by S.A.Klein Deventer, Printed By FEBO Druk, Enschede., Cover: Non-Premix coal Gas flame from a swirl burner.

Demkolec and Thomassen International in the laboratory of thermal Engineering of the university of Twente.

3- Combustion Humming (Instabilities) Over-view, Tim Liewen, assistant Prof., Georgia institute of Technology.

۴- اثرات بکارگیری سیستم کنترل پایداری شعله در کاهش هامینگ در توربین گازی V94-3A، سومین کنفرانس ملی صنعت نیروگاه های حرارتی (سال: ۱۳۹۰)، یاسر گلزاری، مجتبی جواهری