



تحلیل نیرویی الاستومرهای کوره دوار شرکت سیمانی نیزار قم با در نظر گرفتن شرایط استاتیک، دینامیک و حرارتی کوره

نیرومند جاسیمی¹، بهرام افشارمنش¹، افشین تقوایی پور²، حامد غفاری راد^{2*}، امیرحسین ریازی³، کیامهر اولادزاد عباس آبادی⁴، بهرام ایلخانی⁵

- 1- کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران
 - 2- استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران
 - 3- مدیرعامل، شرکت مهندسی پزشکی فناوران طب پیشرفته سوشیانت، اصفهان، ایران
 - 4- مدیر کارخانه، شرکت سیمانی نیزار قم، قم، ایران
 - 5- مدیر دفتر فنی، شرکت سیمانی ارومیه، ارومیه، ایران
- * تهران، صندوق پستی 1591634311، Ghafarirad@aut.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

هدف از این تحقیق، بررسی و تحلیل نیرویی الاستومرهای تکیه گاه نگهدارنده کوره‌های دوار تحت بارگذاری استاتیک، دینامیک و حرارتی می‌باشد. هدف اصلی، بدست آوردن بیشترین نیروی برشی و عمودی هست که الاستومرها باید در شرایط بحرانی (سخت ترین شرایط کاری ممکن کوره) تحمل کنند. کوره مورد بررسی دارای دو تکیه‌گاه می‌باشد که هر کدام از تکیه‌گاه‌ها خود دو ایستگاه در طرفین کوره دارند. این کوره ساخت شرکت پولیسوسیوس بوده و در شرکت سیمان نیزار قم نصب شده است. در هر ایستگاه، الاستومرها در دو سطح و با جهت‌گیری متفاوت توزیع شده‌اند تا نیروهای وارده بر کوره را تحت شرایط کاری مختلف خنثی کنند. در این مطالعه، ابتدا مدل سه بعدی کوره استخراج شد، و سپس بر اساس داده‌های دریافتی از شرکت سازنده و شرکت سیمان استفاده کننده از این کوره، بحرانی‌ترین شرایط استخراج و توسط نرم‌افزارهای تجاری المان محدود بر روی مدل اعمال شدند. جهت ارزیابی و تایید بخشی از نتایج بدست آمده، برخی از آنها با محاسبات تئوری و مهندسی مقایسه گردید.

این مقاله به عنوان یکی از مقالات برتر در هفدهمین همایش ملی و ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی ساخت و تولید ایران (ICME2021) انتخاب شده است.

کلیدواژگان:

کوره دوار
الاستومر
نیروهای مقید
روش المان محدود

A Force Analysis of Rotary Kiln Elastomers in the Neyzar Qom Cement Company Considering Static, Dynamic, and Thermal Loadings

Niromand Jasimi¹, Bahram Afsharmanesh¹, Afshin Taghvaeipour², Hamed Ghafarirad^{2*}, Amirhosein Riazi³, Kiamehr Oladzad⁴ A., Bahram Ilkhani⁵

- 1- Department of Mechanical Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran
 - 2- Department of Mechanical Engineering, Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic), Tehran, Iran.
 - 3- Soshiant Advanced Medical Equipment Company, Isfahan, Iran
 - 4- Neyzar Qom Cement Company, Qom, Iran
 - 5- Urmia Cement Company, Urmia, Iran
- * P.O.B. 1591634311 Tehran, Iran, Ghafarirad@aut.ac.ir

Article Information

Original Research Paper
Received: 15 April 2021
First Decision: 26 April 2021
Accepted: 7 July 2021

Keywords:

Rotary kiln
Elastomer
Constraint forces
Finite element method

Abstract

This paper aims at force analysis of rotary kiln elastomers under static, dynamic, and thermal loadings. The main goal is to extract maximum shear and normal forces which should be tolerated by the elastomers in severe operational conditions. The understudy rotary kiln has two supports, each comprises two stations, which is made by Polysius Company and installed in the Neyzar Qom Cement Company. At each station, the elastomers are distributed in two levels with different orientations to handle the constraint forces caused by different applied loadings. In this project, first, the three-dimensional CAD model of the kiln is produced. Then, based on the severe operational conditions which were reported by the manufacturer and the cement company, the force analysis is conducted by means of a commercial finite element software package. In order to validate the accuracy of the results, some of them will be compared with simple engineering calculations as well.

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

N. Jasimi, B. Afsharmanesh, A. Taghvaeipour, H. Ghafarirad, A. Riazi, K. Oladzad A., B. Ilkhani, A Force Analysis of Rotary Kiln Elastomers in the Neyzar Qom Cement Company Considering Static, Dynamic, and Thermal Loadings, Iranian Journal of Manufacturing Engineering, Vol. 8, No. 6, pp. 34- 40, 2021 (in Persian)

1- مقدمه

مدل‌سازی سه بعدی کوره در نرم‌افزار سالی‌دورکز بر اساس مستندات شرکت پولیسیوس انجام شد.

با توجه به اینکه کوره معمولاً با یک سرعت ثابت در حال چرخش هست، مدل‌سازی مواد سیمانی داخل کوره (کلینکر) به صورت یک قوس 30 درجه که مرکز آن 45 درجه چرخش در راستای چرخش کوره داشته است، انجام شده است. پوشش انتهایی کوره نیز به صورت یک وزن 300 تنی توزیع شده در 25 متر انتهایی کوره در نظر گرفته شده است. خواص مواد مورد استفاده برای هر کدام از بخش‌ها در جدول 1 آمده است.

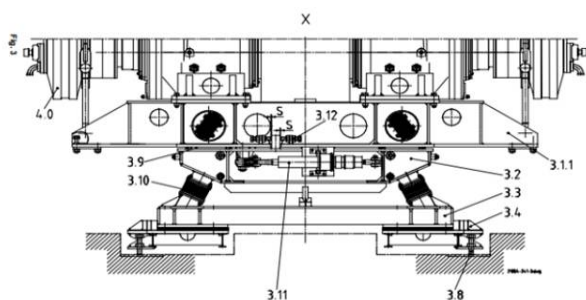


Fig. 1 Two types of elastomers used in rotary kilns (number 3.9: first type D125, and 3.10: second type D290)

شکل 1 دو نوع الاستومر استفاده شده در کوره دوار (شماره 3.9 نوع اول با قطر 125 میلی‌متر و شماره 3.10 نوع دوم با قطر 290 میلی‌متر)

Table 1 Mechanical properties for kiln components

جدول 1 خواص مکانیکی بخش‌های مختلف کوره

| چگالی (kg/m ³) | اجزا |
|----------------------------|------------------|
| بر اساس وزن واقعی | همه اجزای فولادی |
| 1500 | الاستومرها |
| 2400 | فونداسیون و بتن |
| 27440 | سرباره (کلینکر) |

لازم به ذکر است که با توجه به ساده‌سازی‌هایی که در مدل‌سازی سه‌بعدی انجام شده است، چگالی بخش‌های مختلف طوری انتخاب شده است که وزن استاتیک آنها با آنچه در مستندات اعلام شده است، یکسان باشد.

کوره دوار یک المان بسیار حیاتی و مهم در صنعت سیمان است که نقش مهمی در انتقال مواد خام به مواد پخته‌شده و در نهایت سیمان خروجی ایفا می‌کند. طی دهه‌های اخیر، محققان زیادی بر روی موضوعات مهمی مانند انتقال حرارت، دینامیک کوره، تنش‌های تماسی، خستگی و عیب‌یابی پیرامون این کوره‌ها مطالعه و تحقیق داشته‌اند.

لاورنس و همکاران [1، 2] شرایط استاتیک این کوره‌ها را با استفاده روش‌های المان محدود بررسی کرده‌اند. همچنین پژوهش‌هایی به مطالعه پیرامون شرایط دینامیکی کوره و اثرات دینامیکی بر روی پایداری و شکست آن پرداخته‌اند [3-5]. انتقال حرارت و شرایط دمایی کوره نیز از دیگر موضوعات مورد بررسی برخی از محققان در این حوزه بوده است [6-8]. عیب‌یابی [9، 10]، شکست در اثر خستگی [11] و تنش‌های تماسی [12-15] نیز موارد مهم دیگری بودند که توسط محققان بررسی شده‌اند.

هر کوره دوار معمولاً دو یا سه تکیه‌گاه دارد که نقص در آنها می‌تواند بر روی عملکرد کوره تأثیر بسزایی داشته باشد. به همین دلیل هر کدام از شرکت‌های سازنده یک طراحی خاص انجام داده‌اند، تا کوره بتواند عملکرد مطلوبی داشته باشد. اخیراً، شرکت پولیسیوس یک نوع جدید از این کوره‌ها را طراحی کرده است (شکل 2) که دارای دو تکیه‌گاه بوده و در هر کدام از تکیه‌گاه‌ها دو سطح الاستومر طراحی و نصب شده‌اند تا نیروهای مقید ناشی از بارگذاری‌های مختلف بر روی کوره را تحمل کنند. آرایش‌بندی این الاستومرها در شکل 1 می‌شود.

در این تحقیق، تحلیل نیرویی تکیه‌گاه‌ها و الاستومرها تحت بارگذاری استاتیک، دینامیک و حرارتی انجام شده است، تا بیشترین نیروی برشی و عمودی وارد بر الاستومرها در شرایط بحرانی بدست آید. در همین راستا، از روش المان محدود در محیط نرم‌افزار تجاری انسیس استفاده شده است.

2- مدل‌سازی کوره دوار

در قدم اول، همان‌طور که در شکل 2 نشان داده شده است،

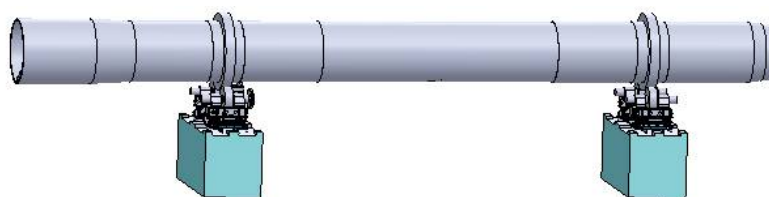


Fig. 2 Polysius rotary kiln CAD modeling in Solidworks

شکل 2 مدل‌سازی سه بعدی کوره دوار شرکت پولیسیوس

3- المان بندی

در تحلیل المان محدود، آن دسته از بخش‌هایی که ضخامت آنها یک دهم بزرگترین بعد آنها هست، به صورت پوسته در نظر گرفته شده‌اند. بقیه بخش‌ها به صورت المان شش وجهی یا چهار وجهی در نظر گرفته شده‌اند. به عنوان یک قانون سرانگشتی، سعی شده است که کمترین میزان شاخص کیفیت المان‌ها 0/1 باشد، جایی که بهترین میزان عدد 1 و بدترین آن صفر می‌باشد (شکل 3).

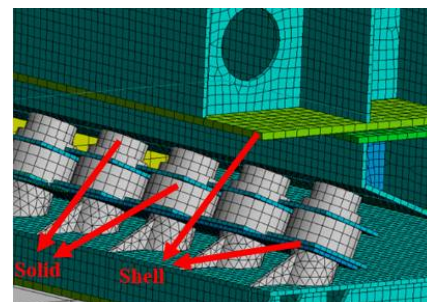


Fig. 3 Examples of shell and solid elements

شکل 3 نمونه‌هایی از نوع المان‌ها

Table 2 Connection type for different components

جدول 2 اتصال بین اجزای مختلف

| نوع تماس | اجزا |
|---|---|
| باند | پوسته و تایر |
| اصطکاکی با ضریب 0/2 | تایر و غلطک |
| بدون اصطکاک | تایر و غلطک محوری |
| بدون اصطکاک با متوقف کننده 20 میلی متری | محور غلطک و یاتاقان |
| باند | پایه یاتاقان و لایه اول تکیه گاه |
| الاستومرهای نوع اول و لایه اول اصطکاکی با ضریب بی نهایت | الاستومرهای نوع اول و لایه اول اصطکاکی با ضریب بی نهایت |
| باند | سایر اتصالات الاستومرها |
| بدون اصطکاک با متوقف کننده 3 میلی متری | متوقف کننده لایه اول و دوم |
| باند | لایه سوم و فونداسیون |
| کروی | شفت کشش طرفین و لایه‌ها |

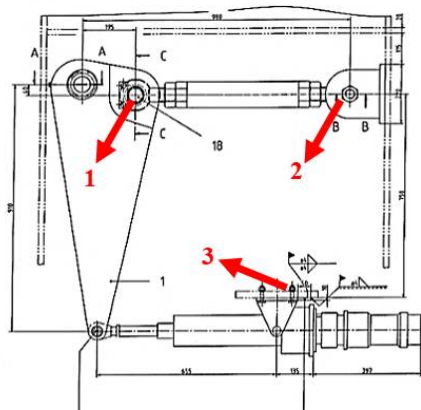


Fig. 4 Spindle mechanism

شکل 4 مکانیزم اسپیندل

نقاط 1 و 2 و 3 به سازه تکیه‌گاه وصل شده‌اند. نیروی جک هیدرولیکی که بر روی نقطه 3 اعمال می‌شود، برابر با 10kN می‌باشد. برای بدست آوردن نیرو در بقیه نقاط اتصال، هم تحلیل تئوری و هم المان محدود انجام شده است و نتایج در شکل 5 آورده شده است.

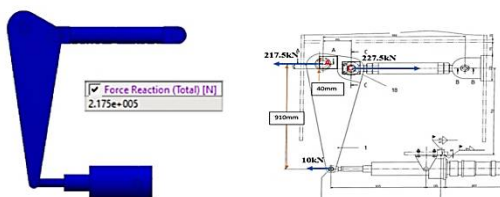


Fig. 5 Force analysis in spindle mechanism by finite element (left hand) and theoretical (right hand)

شکل 5 آنالیز نیرویی مکانیزم اسپیندل با استفاده روش المان محدود (سمت چپ) و به صورت تئوری (سمت راست)

5- نیروهای خارجی

در هر کدام از بخش‌های تحلیل، شرایط متفاوت و بارهای متناسب با آن اعمال و بررسی شده‌است. در تحلیل اول (استاتیکی) اثر نیروهای وزنی و نیروی اسپیندل در نظر گرفته شده‌است، و با توجه به اینکه نیروهای گریز از مرکز بسیار ناچیز می‌باشند (در مقایسه با سایر نیروها) از اثرات آنها صرف نظر شده است.

مکانیزم اسپیندل که با استفاده از جک هیدرولیکی، نیرویی را جهت چرخش لایه بالایی تکیه‌گاه ایجاد می‌کند، به صورت مجزا بررسی و تحلیل شده است و نتایج نیروهای تکیه‌گاهی این مکانیزم و همچنین نیروی نهایی آن به لایه بالایی روی مدل

وجود دارد که در هر کدام از آنها الاستومرهای نوع اول و دوم با آرایش خاصی قرار گرفته‌اند. بعد از اعمال کردن نیروهای استاتیکی که در بخش‌های قبلی توضیح داده شد، مشخص شد که ایستگاه شماره 3 بحرانی‌تر از بقیه ایستگاه‌ها بوده و به همین دلیل نتایج مربوط به این ایستگاه فقط ارائه شده است.

در جدول 3 و جدول 4 نیروهای وارد بر الاستومرهای در حالت تحلیل استاتیک، در حالت اعمال نیروهای اسپیندل و بدون اعمال این نیرو، آورده شده است. الاستومرهای بحرانی با رنگ قرمز مشخص شده‌اند. همان‌طور که مشخص است، در بین الاستومرهای نوع دوم شماره‌های 6 و 12 و در بین الاستومرهای نوع اول شماره‌های 3 و 12 بحرانی‌تر از بقیه الاستومرها می‌باشند. بنابراین، نیاز است که در طراحی این الاستومرها این نیروها مدنظر قرار بگیرند.

7-2- تحلیل دینامیکی و حرارتی

در این بخش بارهای دینامیکی و حرارتی نیز به صورت قدم به قدم در 6 حالت به مدل اضافه شده‌اند. نیروهای هر حالت از تحلیل به صورت زیر می‌باشند:

- تحلیل اول: وزن + نیروی اسپیندل + نیروی محوری 70 تن؛
- تحلیل دوم: وزن + نیروی گریز از مرکز؛
- تحلیل سوم: وزن + بارهای حرارتی بر اساس نمودار اول دریافت شده از شرکت؛

- تحلیل چهارم: وزن + بارهای حرارتی بر اساس نمودار دوم دریافت شده از شرکت؛

- تحلیل پنجم: وزن + در نظر گرفتن ضریب دینامیکی 1/5 برای اجزای دوار؛

- تحلیل ششم: وزن + در نظر گرفتن ضریب دینامیکی 1/5 برای اجزای دوار + نیروی اسپیندل + نیروی محوری 70 تن + نیروی گریز از مرکز + بارهای حرارتی بر اساس نمودار دوم دریافت شده از شرکت.

در میان چهار نمودار حرارتی دریافت شده از شرکت سیمانی، دو مورد از آنها که بحرانی‌تر بوده در این بخش مورد استفاده قرار گرفتند. بعد از انجام تحلیل، مشخص شد که یکی از آنها (نمودار دوم) حالت بحرانی بیشتری داشته و به همین دلیل در تحلیل ششم که جامع‌تر هست این نمودار در نظر گرفته شده است. در شکل 7 نشان داده شده است که چگونه کانتور دریافت شده از شرکت بر روی مدل در نرم‌افزار انسیس اعمال شده است.

همچنین نیروهای دیگری که در ادامه به آنها اشاره خواهد شد، در تحلیل‌های بعدی به مدل اضافه شدند. این نیروهای که بر اساس پیشنهادات سازنده و شرکت سیمانی اعمال شده‌اند، به صورت زیر می‌باشند:

- اعمال کردن ضریب دینامیکی 1/5 بر روی همه اجزای در حال دوارن جهت در نظر گرفتن بدترین شرایط دینامیکی.

- اعمال کردن نیروی محوری 70kN بر روی لایه اول جهت در نظر گرفتن بدترین شرایط نیروی محوری.

- اعمال کردن نیروی گریز از مرکز.

- اعمال کردن تغییرات دمایی کوره بر اساس داده‌های دریافتی از شرکت سیمانی (یکی از آنها در شکل 9 نشان داده شده است).

6- الاستومرها

همان‌طور که اشاره شد، دو نوع از الاستومرها در هر کدام از ایستگاه‌ها استفاده شده‌اند. عملکرد و وظیفه اصلی این الاستومرها خنثی کردن نیروهایی است که در شرایط بارگذاری مختلف می‌توانند تعادل کوره را مختل کنند. نوع اول از این الاستومرها بین لایه اول و دوم (شماره‌های 3.1.1 و 3.2 روی شکل 1) قرار گرفته‌اند، و الاستومرهای نوع دوم بین لایه دوم و سوم (شماره‌های 3.2 و 3.3 روی شکل 1) قرار دارند. آرایش و نحوه قرارگیری آنها در شکل 6 است.

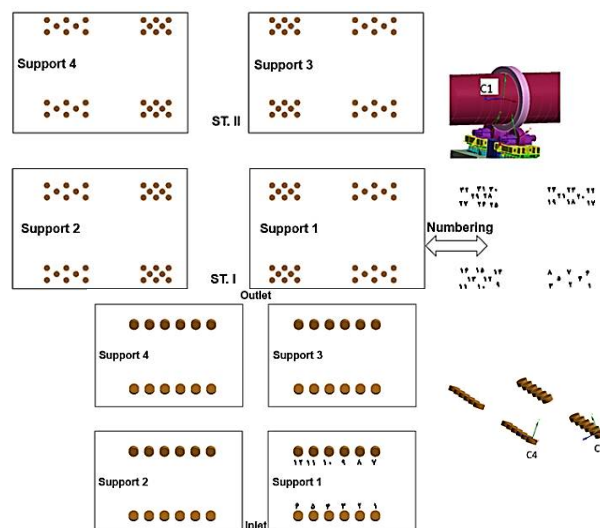


Fig. 6 Nomination of stations and elastomers

شکل 6 نامگذاری و آرایش ایستگاه‌ها و الاستومرها

7- نتایج

7-1- تحلیل استاتیک

همان‌طور که در شکل 6 نشان داده شده است، چهار ایستگاه

Table 4 Static results for D125 elastomers with and without spindle force (just critical ones are mentioned)

جدول 4 نتایج تحلیل استاتیک برای الاستومرهای نوع اول (فقط بحرانی‌ترها آورده شده‌اند)

| با در نظر گرفتن نیروی اسپیندل | | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|------|-------|-------|
| (ton) | Fx | Fy | Fz | Total | Shear |
| EL1 | -5/41 | 11/36 | 1/21 | 12/64 | 5/55 |
| EL2 | -5/47 | 12/87 | 1/09 | 14/03 | 5/58 |
| EL3 | -5/66 | 17/62 | 0/83 | 18/53 | 5/72 |
| EL4 | -5/37 | 9/93 | 1/14 | 11/34 | 5/49 |
| EL5 | -5/76 | 14/80 | 1/00 | 15/91 | 5/85 |

| بدون در نظر گرفتن نیروی اسپیندل | | | | | |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| (ton) | Fx | Fy | Fz | Total | Shear |
| EL1 | -5/15 | 11/38 | 0/10 | 12/49 | 5/15 |
| EL2 | -5/20 | 12/83 | 0/08 | 13/85 | 5/20 |
| EL3 | -5/39 | 17/66 | -0/10 | 18/47 | 5/39 |
| EL4 | -5/14 | 9/94 | 0/09 | 11/19 | 5/14 |
| EL5 | -5/53 | 14/80 | 0/03 | 15/80 | 5/53 |

Table 5 General forces in foundation and stations for static analysis

جدول 5 نتایج عمومی (عکس العمل تکیه‌گاه‌ها و ...) در تحلیل استاتیک

| المان محدود | | مستندات پولیسپیوس | | تن تکیه‌گاه | |
|-------------|-----|-------------------|-----|-------------|-----|
| 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 266 | 292 | 317 | 340 | 302 | 310 |
| 106 | 106 | 126 | 124 | 43 | 29 |
| 32 | 35 | 36 | 39 | 61 | 0 |
| 52 | 0 | 61 | 0 | | |

Table 6 Final results for D125 elastomers after applying thermal and dynamical forces—step 6 run 5 is critical one.

جدول 6 نتایج نهایی برای الاستومرهای نوع اول بعد از اعمال بارهای دینامیکی و حرارتی

| ایستگاه 3 | | | | | |
|-----------|------|------|-----|-------|-------|
| (ton) | Fx | Fy | Fz | Total | Shear |
| max | -6/1 | 25/4 | 4/3 | 27/1 | 9/6 |
| min | -8/7 | 9/5 | 1/7 | 11/6 | 6/4 |

8- اعتبار سنجی نتایج

به دلیل هندسه پیچیده کوره و کل سازه، اعتبارسنجی همه نتایج تقریباً غیرممکن هست. اما در این مطالعه یک تحلیل تئوری ساده انجام شده است، تا به صورت تقریبی نتایج تحلیل استاتیک ارزیابی شوند. برای انجام این کار، ابتدا وزن پوسته به صورت یکنواخت در نظر گرفته شده است و نیروهای عکس‌العمل

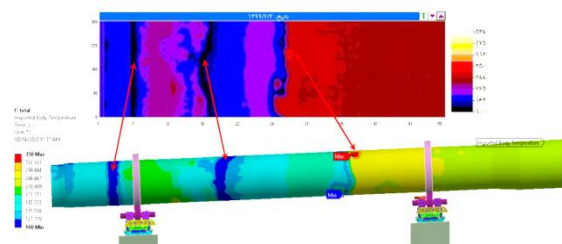


Fig. 7 Applying thermal contour on kiln shell with high quality

شکل 7 اعمال کردن نمودار توزیع دمایی بر روی کوره با دقت بالا

Table 3 Static analysis results for D290 with and without spindle force (D290)

| با در نظر گرفتن نیروی اسپیندل | | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| (ton) | Fx | Fy | Fz | Total | Shear |
| EL1 | -2/75 | 28/89 | 4/33 | 29/35 | 5/13 |
| EL2 | -2/88 | 28/67 | 4/29 | 29/13 | 5/17 |
| EL3 | -2/89 | 27/19 | 4/05 | 27/64 | 4/98 |
| EL4 | -3/54 | 28/59 | 4/16 | 29/11 | 5/46 |
| EL5 | -3/79 | 35/14 | 4/99 | 35/70 | 6/27 |
| EL6 | -3/73 | 42/15 | 5/77 | 42/70 | 6/87 |
| EL7 | -2/67 | 27/64 | -3/76 | 28/02 | 4/61 |
| EL8 | -2/78 | 27/69 | -3/83 | 28/09 | 4/73 |
| EL9 | -2/82 | 26/79 | -3/64 | 27/18 | 4/61 |
| EL10 | -3/38 | 28/29 | -3/82 | 28/75 | 5/10 |
| EL11 | -3/71 | 34/68 | -4/70 | 35/19 | 5/98 |
| EL12 | -3/71 | 41/51 | -5/51 | 42/04 | 6/64 |

| بدون در نظر گرفتن نیروی اسپیندل | | | | | |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| (ton) | Fx | Fy | Fz | Total | Shear |
| EL1 | -2/75 | 29/04 | 4/42 | 29/50 | 5/20 |
| EL2 | -2/88 | 28/88 | 4/37 | 29/35 | 5/24 |
| EL3 | -2/89 | 27/42 | 4/13 | 27/88 | 5/04 |
| EL4 | -3/54 | 28/85 | 4/24 | 29/37 | 5/52 |
| EL5 | -3/79 | 35/46 | 5/08 | 36/02 | 6/34 |
| EL6 | -3/73 | 42/50 | 5/86 | 43/06 | 6/95 |
| EL7 | -2/70 | 27/51 | -3/66 | 27/88 | 4/55 |
| EL8 | -2/79 | 27/69 | -3/70 | 28/07 | 4/64 |
| EL9 | -2/84 | 26/56 | -3/55 | 26/95 | 4/54 |
| EL10 | -3/40 | 28/04 | -3/74 | 28/49 | 5/05 |
| EL11 | -3/73 | 34/38 | -4/61 | 34/89 | 5/93 |
| EL12 | -3/73 | 41/19 | -5/41 | 41/71 | 6/57 |

همان‌طور که واضح است، در میان شش تحلیل اشاره شده، تحلیل آخر بحرانی‌ترین تحلیل و جامع‌ترین می‌باشد. همچنین نتایج اولیه در این بخش نیز نشان می‌دهد، که ایستگاه شماره 3 بیشتر بحرانی می‌باشد. لذا در این بخش نتایج تحلیل ششم برای ایستگاه شماره 3 آورده شده است (جدول‌های 6 و 7).

توزیع (با یک تقریب خوب) نیروهای $Ws1$ و $Ws2$ به روزرسانی می‌شوند.

$$W_{Coating} = 300 \text{ ton},$$

$$Ws2 = 93.019 + 247.2 = 340.219 \text{ ton}$$

$$Ws1 = 123.117 + 52.8 = 175.917 \text{ ton}$$

مواد سیمانی داخل کوره 65 تن و لایه نسوز 530 تن به

صورت توزیع یکنواخت در نظر گرفته شدند و نیروهای

عکس‌العمل تکیه‌گاهی جدید محاسبه شدند:

$$Ws1 = 175.917 \text{ ton}, \quad Ws2 = 584.499 \text{ ton}$$

همچنین هر تکیه‌گاه 53 تن رینگ دور کوره دارد که به

صورت مستقیم به نیروهای تکیه‌گاهی اضافه می‌شوند:

$$Ws1 = 579.6 \text{ ton}, \quad Ws2 = 637.6 \text{ ton}$$

همان‌طور که اشاره شد، هر تکیه‌گاه دو ایستگاه دارد، لذا

نیروهای عمودی این ایستگاه‌ها نصف نیروهای عکس‌العمل

تکیه‌گاهی خواهند بود که برای هر کدام از تکیه‌گاه‌ها داریم:

Supports forces: Station 1: 289.8 ton,

Station 2: 318.8 ton

در جدول 8، نتایج تحلیل تئوری با نتایج المان محدود

(جدول 5) و آنچه در مستندات شرکت موجود است مقایسه

شده‌اند و مشاهده می‌شود که خطاهای محاسبه شده قابل قبول

می‌باشند.

Table 8 Supports forces in Document, theoretical, and finite element analysis

جدول 8 نیروی تکیه‌گاه‌ها در مستندات و تحلیل‌های تئوری و المان محدود

| ایستگاه | مستندات (1) | المان محدود (2) | تئوری (3) | خطای خطای | خطای |
|---------|-------------|-----------------|-----------|-----------|------|
| 1 (تن) | 296/2 | 279 | 289/8 | 2و1 | %2 |
| 2 (تن) | 5/304 | 328/5 | 318/8 | 3و1 | %4/5 |

9- جمع‌بندی

در این مطالعه تحلیل نیروهای الاستومرهای کوره دوار موجود در شرکت سیمانی نیزار قم انجام شد. این تحلیل تحت شرایط مختلف (استاتیک، دینامیکی و حرارتی) انجام شد. بر اساس نتایج بدست آمده نکات مهم زیر قابل ذکر هستند:

- ایستگاه شماره 3 بحرانی‌ترین ایستگاه می‌باشد و نیاز است که تحت مراقب ویژه قرار گیرد.

- در بین الاستومرهای ایستگاه 3، شماره‌های 6 و 12 برای الاستومرهای نوع دوم و شماره‌های 3 و 24 برای الاستومرهای نوع اول بحرانی‌تر هستند.

- نیروی گریز از مرکز در مقایسه با بقیه نیروها قابل صرف نظر کردن هست.

متناظر در تکیه‌گاه‌ها بدست آمده است (شکل 8).

Table 7 Results for D290 elastomers after applying thermal and dynamical forces

جدول 7 نتایج نهایی برای الاستومرهای نوع دوم (اعمال بارهای حرارتی و دینامیکی)

| ایستگاه 3 | | | | | |
|-----------|------|------|------|-------|-------|
| (ton) | Fx | Fy | Fz | Total | Shear |
| EL1 | -3/8 | 37/9 | 9/8 | 39/3 | 10/6 |
| EL2 | -4/0 | 36/8 | 9/9 | 38/4 | 10/7 |
| EL3 | -4/1 | 34/2 | 9/6 | 35/8 | 10/4 |
| EL4 | -5/0 | 35/9 | 9/9 | 37/6 | 11/1 |
| EL5 | -5/3 | 44/9 | 11/2 | 46/6 | 12/4 |
| EL6 | -5/2 | 54/0 | 12/4 | 55/7 | 13/4 |
| EL7 | -4/2 | 46/1 | -1/6 | 46/3 | 4/5 |
| EL8 | -4/4 | 46/3 | -1/5 | 46/5 | 4/6 |
| EL9 | -4/4 | 45/0 | -1/1 | 45/2 | 4/6 |
| EL10 | -5/2 | 47/3 | -1/2 | 47/6 | 5/4 |
| EL11 | -5/7 | 56/7 | -2/3 | 57/0 | 6/2 |
| EL12 | -5/7 | 66/6 | -3/3 | 66/9 | 6/6 |
| max | -3/8 | 66/6 | 12/4 | 66/9 | 13/4 |
| min | -5/7 | 34/2 | -3/3 | 35/8 | 4/5 |

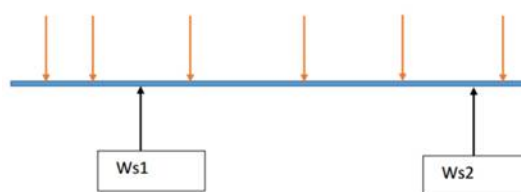


Fig. 8 Shell weight distribution in each stage of kiln

شکل 8 توزیع وزنی پوسته کوره

همان‌طور که در شکل 8 نشان داده شده است $Ws2$ و $Ws1$ نیروهای عکس‌العمل تکیه‌گاهی می‌باشند (هر کدام از تکیه‌گاه‌ها خود دو ایستگاه دارند). با اعمال قوانین تعادل در راستای افقی و گشتاور، نیروهای تکیه‌گاهی به صورت زیر بدست می‌آیند:

$$Ws2 = 93.019 \text{ ton}, \quad Ws1 = 123.117 \text{ ton}$$

برای اعمال نیروی ناشی از پوشش انتهایی کوره، ابتدا محل و توزیع آن بایستی مشخص شود که برخی از تحقیقات [16]، [17] به این موضوع پرداخته‌اند. پوشش انتهایی از 1/6 متر انتهایی کوره شروع می‌شود. میانگین ضخامت آن 0/43 متر با بیشترین مقدار 0/77 متر در 18 متری انتهایی کوره می‌باشد. همچنین کل طول آن 25 متر می‌باشد. با در نظر گرفتن این

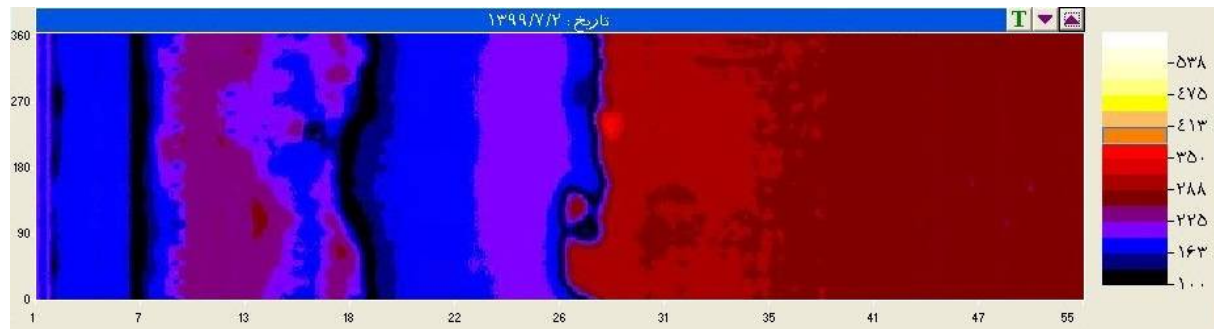


Fig. 9 Four type of thermal contours were taken from the company, among which this one is the most critical one

شکل 9 چهار نمودار دمایی از کوره از شرکت سیمانی دریافت شد که در بین آنها این نمودار بحرانی تر بود

- [8] Csernyei, C.M., Numerical Modelling of a Rotary Cement Kiln with External Shell Cooling Fans. 2016.
- [9] Zheng, K., Y. Zhang, and T. Li, Fault diagnosis for supporting rollers of the rotary kiln using the dynamic model and empirical mode decomposition. *Mechanics*, 2016. **22**(3): pp. 198-205.
- [10] Romero, R.E., et al. Device For Measuring Mechanical Variables For Fault Detection in Cement Production Kilns. in 2018 Argentine Conference on Automatic Control (AADECA). 2018. IEEE.
- [11] Maziarz, M. and E. Tasak, Case study of fatigue failures in the support rings of a cement kiln. *International journal of fatigue*, 1992. **14**(2): pp. 84-90.
- [12] Xiao, Y.-g., D.-f. Pan, and X.-m. Lei, Contact pressure distribution and support angle optimization of kiln tyre. *Journal of Central South University of Technology*, 2006. **13**(3): pp. 246-250.
- [13] Yang, X.Y., et al. Contact Pressure of Loose-Fitted Tyre under Intermittent Contact. in *Advanced Materials Research*. 2013. Trans Tech Publ.
- [14] Dí az J.C., et al., Design and finite element analysis of a wet cycle cement rotary kiln. *Finite elements in analysis and design*, 2002. **39**(1): pp. 17-42.
- [15] Žiga, A., A. Karač, and D. Vukojević. The contact stresses between cement kiln tyre and supporting rollers. in 12th International research/expert conference "trends in the development of machinery and associated technology. 2008. Citeseer.
- [16] Pieper, C., et al., Numerical investigation of the impact of coating layers on RDF combustion and clinker properties in rotary cement kilns. *Fuel*, 2021. **283**: pp. 118951.
- [17] Wirtz, S., et al., Impact of coating layers in rotary cement kilns: Numerical investigation with a blocked-off region approach for radiation and momentum. *Thermal Science and Engineering Progress*, 2020. **15**: pp. 100429.

- اثر نیروی محوری 70 تنی بر روی نیروی برشی الاستومرها قابل ملاحظه است. اما باید در نظر داشت که این نیرو در شرایط خاصی که نیاز است کوره به صورت محوری حرکت کند اعمال می‌شود.

- بارهای حرارتی به دلیل استفاده از یاتاقان ژورنال اثر کمتری بر روی نیروهای وارد بر الاستومرها دارند.

با توجه به اینکه کوره در حال دوران می‌باشد و خم شدن آن در برخی از شرایط محتمل است، توصیه می‌شود که در کارهای آتی اثر خمش نیز تحلیل و بررسی شود.

10- مراجع

- [1] Krishnan, S., Achieving mechanical stability of rotary kiln by FEM. *Int J Adv Technol Eng Sci*, 2014. **12**: pp. 568-580.
- [2] Lawrence, K.K., et al., Static structure analysis of 5000tpd Rotary cement kiln using ANSYS Mechanical APDL.
- [3] Van Dyk, D. and L. Pretorius, Analysis of dynamic effects in a rotary kiln system used for iron production. *R&D J.*, 1994. **11**(1): pp. 12-20.
- [4] Bowen, A.E. and B. Saxer, Causes and effects of kiln tire problems. *IEEE transactions on industry applications*, 1985(2): pp. 344-355.
- [5] Li, X., Y. Shen, and S. Wang, Dynamic modeling and analysis of the large-scale rotary machine with multi-supporting. *Shock and Vibration*, 2011. **18**(1, 2): pp. 53-62.
- [6] Sonavane, Y. and E. Specht. Numerical analysis of the heat transfer in the wall of rotary kiln using finite element method ANSYS. in *Seventh International Conference on CFD in the Minerals and Process Industries*, CSIRO, Melbourne, Australia. 2009.
- [7] ARAD, S. Thermal analysis of the rotary kiln through FEA. in *2nd international conference on applied and computational mathematics (ICAM'13)*, Vouliagmeni, Greece. 2013.