# تاثیر تغییرات مدول الاستیسیته بتن بر نتایج تحلیل اجزای محدود فونداسیون ID Fan کارخانه سیمان

**حمید اسکندری [۱]، امیر پاکزاد [۲]، علی امیری [۳]، سید رضی الدین ساداتی [۴]**

**۱و۲- دانشکده فنی و مهندسی گروه عمران، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار**

**۳- قائم مقام مدیر عامل شرکت سیمان لار سبزوار**

**۴- مدیر کارخانه سیمان لار سبزوار**

Conference Cement Industry, Energy and Environment

## چکیده

ID Fan کارخانه سیمان موتورهای دواری هستند که با ایجاد مکش، مواد تولید شده در چرخه تولید سیمان را منتقل می‌کنند. این موتورها با توجه به اندازه و فرکانس خود بارهای استاتیکی و دینامیکی به سازه فونداسیون خود وارد می‌نمایند. ماهیت دینامیکی بارهای وارده بر فونداسیون این سازه‌ها مستلزم توجه بیشتر در تحلیل و طراحی سازه و خصوصا توجه به ویژگیهای بتن می‌باشد. در این پژوهش با توجه به اهمیت موضوع، ابتدا مدل اجزای محدود سازه‌های فونداسیون موجود بوسیله نرم افزار آباکوس بررسی و نحوه بارگذاری آن مشخص می گردد، سپس با استفاده از مدل چهار نوع بتن با مدول الاستیسیته مختلف نتایج تحلیل از قبیل تغییر شکل و تنشها در نقاط بحرانی این سازه مشخص و مقایسه می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که نقاط بحرانی سازه در محل حفره‌هایی اتفاق می افتد که برای نصب اتصالات دستگاه ID Fan با ملاحظات اجرایی تعبیه شده است، مقادیر بالای تنش و تغییر مکان در این محلها باعث شکست سازه می‌گردد. با تغییر در نوع بتن و افزایش مدول الاستیسیته آن، این تغییر مکانها کاهش می‌یابد لذا می‌توان با استفاده از بتن‌های با مقاومت و مدول الاستیسیته بالاتر طراحی بهینه‌ای برای سازه این فونداسیون ارائه کرد.

**واژه‌های کلیدی**: مدول الاستیسیته – فونداسیون بتنی- ID Fan - بارگذاری- مدلسازی.

[1] Hamidiisc@yahoo.com
[2] Amirpakzadhsu@gmail.com
[3] Aliamiri774@gmail.com
[4] sadati_razih@yahoo.com

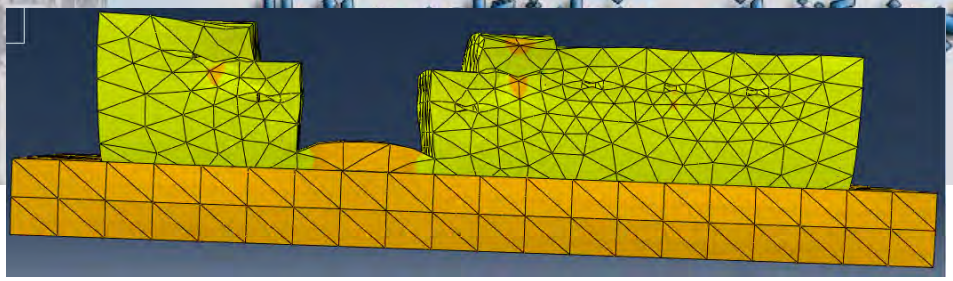
## ۱- مقدمه

یکی از انواع فن‌ها که در صنایع مختلف کاربرد زیادی داشته و نقش مهمی در چرخه تولید دارند و در صنعت تولید سیمان مورد استفاده قرار می‌گیرد، ID Fan ها هستند، ID Fan در صنعت سیمان برای جابجایی مواد با فشار هوا و یا خنک کردن با دو روش استفاده از هوا و استفاده از مایع به کار می‌رود و برای شناسایی رفتار واقعی سازه‌ای آنها داده‌هایی مانند Cost Up, Time Signal, Cost Down و تستهای ضربه بایستی مورد بررسی قرار بگیرد. خروج این فن از این چرخه خسارات مالی در روند تولید ایجاد می‌کند [۱] . شناخت ماهیت دینامیکی بارگذاری و تاثیر فنها بر روی سازه فونداسیون و همچنین پاسخهای فونداسیون به این بارگذاری بایستی بررسی و با روشهای تحلیل دینامیکی مورد آنالیز قرار گیرد. از موارد مهمی که در تحلیل سازه بایستی به آن توجه کرد پدیده تشدید است، برای بررسی تشدید در سازه بایستی فرکانس طبیعی سازه در هر مود ارتعاشی محاسبه شود، در تعیین و پردازش فرکانسهای مختلف استفاده از مدلهای کامپیوتری و نرم‌افزاری راهگشاست و نتایج این مدلسازیها با تقریب بسیار خوبی مطابق واقعیت است[۲]. در انجام مدل سازه‌های مختلف مانند فونداسیون ID Fan کارخانه‌های سیمان، می‌توان از روشهایی مانند اجزای محدود[۳] و اجزای محدود گسترش یافته[۴] و اجزای محدود هیبریدی[۵] استفاده کرد و در این راستا از نرم‌افزارهای متناسب با این روشها مانند آباکوس بهره برد. آسیبهای ID Fan بر سازه فونداسیون خود از جمله Down Time, Lost Production و آسیب در شفتها و چرخنده‌ها هستند که به دلیل ازدیاد مقدار بار استاتیکی و دینامیکی و به وسیله موتورهایی که با سرعت چرخش زیاد، و وجود خطا در نصب و مونتاژ دستگاه بر روی فونداسیون می‌باشد[۶]. مشخصات فنی ID Fan با توجه به مورد استفاده از آن متفاوت می‌باشد. تعیین نوع و مشخصات دستگاههای مورد استفاده می‌تواند در افزایش دقت مدلسازی بارگذاری و نتایج پایانی بسیار مفید و موثر باشد[۷]. استانداردها با روشهای مختلف طراحی برای آنالیز و انجام محاسبات و طراحی سازه‌ای فونداسیون تحت بارهای استاتیکی و دینامیکی[۸] وجود دارد. در این آیین‌نامه‌ها در خصوص مقاومت و ویژگیهای مصالح مصرفی و نحوه استفاده از آنها در تحلیل و همچنین روشهای مختلف طراحی ارائه شده است[۱۲-۹]. تغییر شکل و تنش ایجاد شده در فونداسیون فن، وابسته به عوامل مختلفی مانند نحوه مونتاژ دستگاه بر روی فونداسیون، شکل و ابعاد فونداسیون، صفحه و نحوه اتصال دستگاه به فونداسیون و مشخصات بتن مصرفی می‌باشد[۱۵-۱۳]. رفتار فونداسیون بتنی تحت بارهای مختلف استاتیکی و دینامیکی با فرکانسها و معادلات قابل تحلیل با روشهای مختلف مانند استفاده از نرم افزارهای کامپیوتری است. با بررسی و تعیین مشخصات رفتاری فونداسیون در اثر تغییرات در مشخصات مدول الاستیسیته بتن به روش اجزای محدود می‌توان از نتایج آن در تحلیل و طراحی بهینه سازه استفاده نمود و از ظرفیت باربری بتن مورد استفاده حداکثر بهره برداری را انجام داد.

## برنامه پژوهش

ویژگیهای بتن مانند مدول الاستیسیته تاثیر مستقیمی بر طراحی سازه‌ها دارد. برای طراحی فونداسیون تحت اثر بارگذاری دینامیکی بایستی با استفاده از روشهای دینامیکی سازه را تحلیل نمود و ویژگیهای مختلف مصالح مورد استفاده را به دقت در تحلیل و طراحی مد نظر قرار داد. در این پژوهش با استفاده از مدلسازی سازه فونداسیون ID Fan کارخانه سیمان به وسیله نرم افزار آباکوس و تحلیل آن به روش اجزای محدود برای بتن با ویژگی مدول الاستیسیته متفاوت، تاثیر این پارامتر بر نتایج تحلیل سازه آن معین می شود.

Conference Cement Industry, Energy and Environment

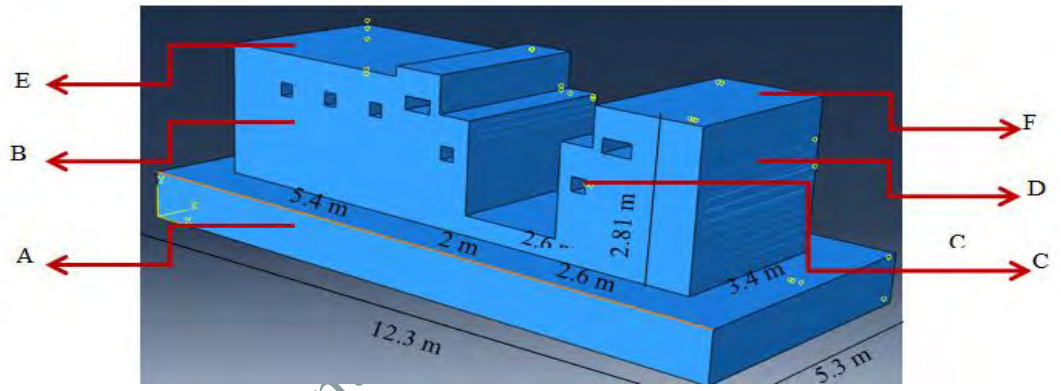


شکل۲– کانتور تنش فونداسیون ID Fan

## ۲- تعریف مدل

مشخصات فن مورد استفاده جهت حمل مواد با خنک کننده هوا ۶۰۰ KW و ۶,۳ KV و ID Fan با سرعت ۱۸۰۰ دور در دقیقه در حال چرخش است که فرکانس بار تولید شده توسط آن ۱۵ هرتز می‌باشد.

اجزای مختلف این فونداسیون که در شکل (۱) نشان داده شده است از قسمتهای مختلفی به صورت A که در خاک مدفون است، B,D که به صورت نمایان و در زیر دستگاه فن قرار گرفته، C حفره برای نصب دستگاه و بستن بولتهای صفحه زیر آنها که به صورت متقارن در دو طرف فونداسیون وجود دارد، E,F که به عنوان سطح بارگذاری می‌باشد، نشان داده شده است. بارهای وارد بر سازه به صورت استاتیکی وزن دستگاه و دینامیکی مربوط به فرکانس چرخش موتور می‌باشد و تحلیل آن نیز بایستی با توجه به نوع بار انجام گردد. عملکرد صحیح و منظم این سازه در کارخانه‌های سیمان و خط تولید اهمیت داشته لذا انجام تحلیل و طراحی مناسب آن بسیار مهم است.




شکل۱ – جزئیات فونداسیون ID Fan

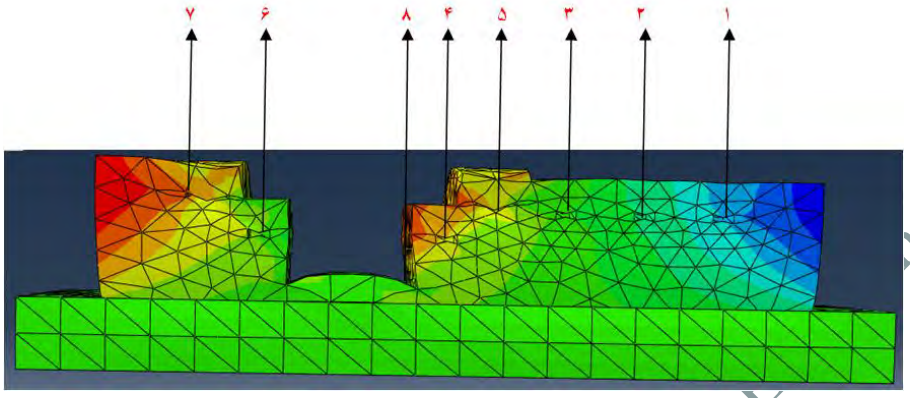
## ۳- آنالیز مدل

در مدلسازی با نرم افزار آباکوس مشخصات مواد مورد استفاده بایستی معین گردد که در این پژوهش برای بتن از مدولهای الاستیسیته $۲۰*۱۰^{۹}$، ۲۵، ۲۸ و برای فولاد از مدول الاستیسیته $۲۵۰*۱۰^{۹}$ نیوتن بر متر مربع استفاده شده است. سپس بارهای وارده بر سازه و وضعیت تکیه‌گاهها مشخص و مش‌بندی اجزای سازه به صورت مناسب تعریف می‌گردد. با انجام این مراحل می توان مدل را تحت بارهای وارده آنالیز و واکنشهای تکیه‌گاهی، تنشها در نقاط مختلف و تغییرمکانها در جهت‌های متفاوت را تعیین نمود.

در شکل (۲) که نتایج تغیر شکل سازه و تنشهای وارد بر آنرا نشان می دهد مشاهده می‌گردد که در محل حفره‌های موجود بیشترین تنشها بر سازه وارد می گردد.

Conference Cemen... and Environment

همانطور که در شکل (۳) نیز مشاهده می‌شود، نقاط بحرانی تغییر شکل در قسمتهای ۷ و ۴ و ۵ بوده و همچنین در محدوده حفره‌ها تغییر مکانها قابل ملاحظه بوده و بایستی مقادیر آنها در طراحی کنترل شود.




شکل۳– تغییر مکان وارد بر سازه و تعیین نقاط بحرانی

## ۴- تحلیل نتایج

در تحلیل سازه‌های بتنی بایستی مشخصات صحیح مصالح مصرفی مانند بتن در مدل برای نرم‌افزار تعیین گردد. با توجه به فرضیات انجام شده در نحوه محاسبه مقاومت فشاری مشخصه بتن $f_c'$ و همچنین مدول الاستیسیته بتن که با استفاده از رابطه ۱ بدست می‌آید، استفاده از مشخصات صحیح و نزدیک به واقعیت باعث افزایش دقت در محاسبات می‌گردد.

$$E_c = 15100 * \sqrt{f_c'} \quad (۱)$$

مقادیر تغییر مکان و تنشهای بدست آمده از نتایج تحلیل به روش اجزای محدود در جدول (۱) برای انواع بتن با مدول الاستیسیته‌های تعریف شده ارائه شده است.

جدول۱– تغییر مکان و تنشهای محاسباتی

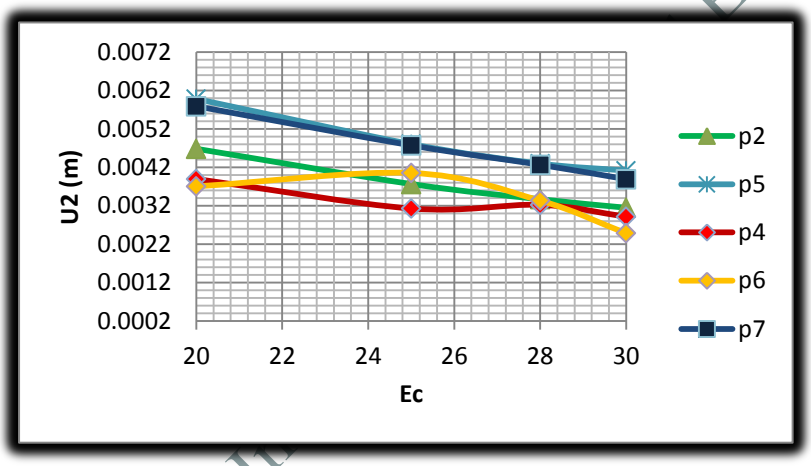
| | Ec=20 N/m$^2$ | | Ec=25 N/m$^2$ | | Ec=28 N/m$^2$ | | Ec=30 N/m$^2$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | u(m) | s (N/m2) | u(m) | s (N/m2) | u(m) | s (N/m2) | u(m) | s (N/m2) |
| ۱ | 0.00475 | 21373400 | 0.003818 | 19469000 | 3.42E-03 | 1.95E+07 | 3.19E-03 | 2.25E+07 |
| ۲ | 0.004681 | 19000900 | 0.003765 | 19774600 | 3.37E-03 | 2.07E+07 | 3.15E-03 | 1.87E+07 |
| ۳ | 0.004738 | 16958400 | 0.00381 | 18774600 | 3.41E-03 | 1.81E+07 | 3.17E-03 | 1.61E+07 |
| ۴ | 0.003895 | 25198200 | 0.003128 | 23847100 | 3.22E-03 | 2.24E+07 | 2.91E-03 | 2.05E+07 |
| ۵ | 0.005977 | 26889800 | 0.004803 | 26030200 | 4.30E-03 | 2.61E+07 | 4.11E-03 | 2.55E+07 |
| ۶ | 0.003703 | 26383700 | 0.004052 | 24297200 | 3.33E-03 | 2.06E+07 | 2.48E-03 | 1.96E+07 |
| ۷ | 0.005787 | 29830100 | 0.004769 | 31074200 | 4.26E-03 | 2.82E+07 | 3.89E-03 | 2.37E+07 |

Conference Cement Industry, Energy and Environment

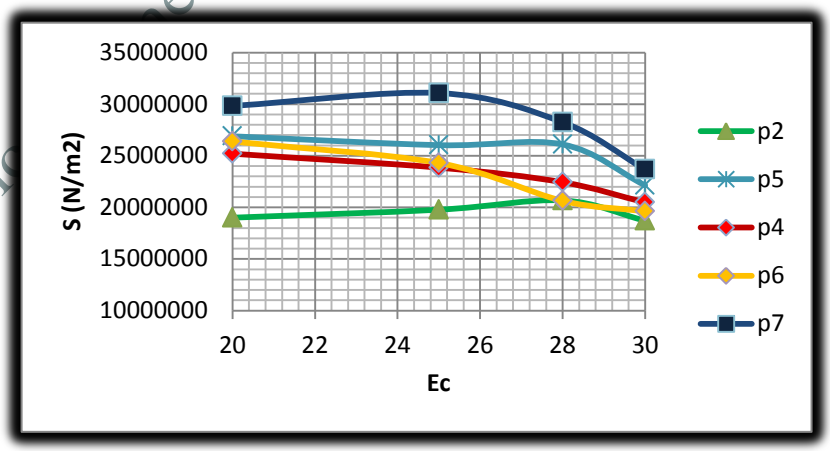
مطابق جدول شماره۱ مشاهده می‌شود که بیشترین تغییر شکلهای ایجاد شده در نقاط ۵ و ۷ می‌باشد. با توجه به ماهیت بارگذاری، تغیر شکلها در جهت Y بیشتر است و در این نقاط در جهت Y بایستی در طراحی توجه بیشتری نمود تا اجزای تعریف شده بتواند در مقابل بارهای وارد مقاومت داشته باشد.

در شکل (۴) مشاهده می‌شود که تغییرات مدول الاستیسیته بتن از ۱۰۹*۲۰ تا ۱۰۹*۳۰ نیوتن بر متر مربع در شرایط یکسان دیگر می‌تواند تا ۱۵ درصد تغییر مکانهای سازه در نقاط بحرانی را کاهش دهد. این نتیجه می‌تواند کاربرد فراوانی در استفاده بهینه از بتن با مدول الاستیسیته بالا برای این نوع سازه داشته و در طراحی سازه به عنوان یکی از تمهیدات برای کنترل تغییر مکانهای سازه مد نظر قرار گیرد.

شکل (۵) که تغییرات تنشهای وارده بر سازه در نقاطی مشخص با تغییر در مدول الاستیسیته بتن را بررسی می‌کند، نشان می دهد که تغییرات مدول الاستیسیته بتن از ۱۰۹*۲۰ تا ۱۰۹*۳۰ نیوتن بر متر مربع در شرایط یکسان دیگر تاثیر زیادی بر مقادیر تنشها در نقاط مختلف سازه نداشته و تنها ۳ تا ۵ درصد موجب کاهش تنشها شده که عملا قابل صرف نظر کردن است.




شکل۴–تغییر مکان با تغییر در مدول الاستیسیته بتن




شکل۵– تغییرات تنش با تغییر در مدول الاستیسیته بتن

بایستی توجه داشت که مدلسازی سازه ID Fan که در این پژوهش با فرض صلب بودن سازه فونداسیون و در جهت‌های X,Y,Z انجام شده است و در واقع بایستی شرایط ژئوفیزیکی زمین محل احداث بررسی آزمایشگاهی شده و با توجه

Conference Environment

به نتایج آن، سازه مدل و تحلیل گردد، همچنین مقاومت فشاری مشخصه بتن برای نمونه‌های مکعبی و استوانه‌ای استاندارد تعریف شده و لزوما برای ابعاد متفاوت نمی‌توان از $f'_c$ استفاده کرد. لذا تغییر در ابعاد سازه و ضریب شکل بایستی در مقادیر استفاده شده برای $f'_c$ در تحلیل سازه مورد توجه قرار گیرد.

## ۵- نتیجه‌گیری

ID Fan یکی از اجزای خط تولید سیمان است که عملکرد صحیح و بدون وقفه آن در این خط تولید بسیار مهم است. با توجه به ماهیت دینامیکی بار وارده از این فنها بر فونداسیون مربوط به آن بایستی از تحلیل دینامیکی برای این سازه استفاده نمود. در تحلیل و طراحی این سازه بایستی خواص مصالح مصرفی خصوصا بتن مورد توجه واقع شود.

استفاده از بتن با مدول الاستیسیته و به تبع آن مقاومت فشاری بالاتر مطابق نتایج این پژوهش می‌تواند باعث کاهش تغییر مکانهای سازه خصوصا در نقاط بحرانی گردد. این تغییرات در مدول الاستیسیته بتن در مقادیر تنش وارد بر نقاط بحرانی سازه تاثیر قابل ملاحظه‌ای ندارد. لذا برای کنترل تغییر مکانها و ارتعاشات سازه به عنوان یک راه حل، می‌توان از بالا بردن مدول الاستیسیته بتن استفاده نمود.

## مراجع

[۱] نایبی اردستانی، ولی الله.، حیدری، مسعود.، (۱۳۹۲)، "به کارگیری روشی نوین جهت جلوگیری از ارتعاشات، خستگی و تقویت سازه ID Fan برای اولین بار در کشور در سیمان اردستان"، ماهنامه علمی- تخصصی فن‌آوری سیمان، شماره۶۳، صفحه ۳۶-۲۷.

[1] Smith, D. R., & Simmons, H. R., (1980)., "*Unique Fan Vibration Problems: Their Causes and Solutions*", In Proceedings of the Ninth Turbomachinery Symposium, December.

[2] Unger, J. F., Eckardt, S., & Könke, C., (2007)., "*Modelling of cohesive crack growth in concrete structures with the extended finite element method*", Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 196(41), 4087-4100.

[3] Shahbeyk, S., Hosseini, M., & Yaghoobi, M. (2011)., "*Mesoscale finite element prediction of concrete failure*", Computational Materials Science, 50(7), 1973-1990.

[4] Freitas, J. A., Cuong, P. T., Faria, R., & Azenha, M. (2013)., "*Modelling of cement hydration in concrete structures with hybrid finite elements*".

[5] Gutzwiller, L., Banyay, H. D., Cohen, S. M. (1991)., "*Cement plant preheater fan build-up control*", Industry Applications, IEEE Transactions on, 27(3), 425-430.

[6] *"ID Fans in cement plant ",* Broceni, Latvia.

[7] COMITTE, A. 351.3 R-04.(2004)., "*Foundations for Dynamic Equipment*", In American Concrete Institute.

[8] PNEG-318., (2013)., "*Concrete Foundation Recommendations for GSI Grain Bins*", Instructions Manual.

[9] Leso, N., Puttonen, J., & Porkka, E., (1995)., "*The effect of foundation on fan vibration response*".

[10] Carmody, J., & Christian, J., (2010)., " *Builder's Foundation Handbook*".

[11] Prakash, S., & Puri, V. K., (2006)., "*Foundations for vibrating machines*", Journal of Structural Engineering, 33(1), 13-29.

[12] Sayer, R. J. (2004)., "*Finite Element Analysis-A Numerical Tool for Machinery Vibration Analysis*", Sound and vibration, 38(5), 18-21.

[13] T:\AUFTRAG\12269328\DOPOLVENTILATOR\KDOKU\POS10_DHRV45B1800K_EN.DOC., (2005)., "*Operating instructions High Efficiency Centrifugal Fan, Type: DHRV 45B-1800K*".

Deolalkar, S. P., (2009). "*Handbook for designing cement plants*", BS Publications

Conference Cement Industry, Energy and Environment

# Finite element analysis of ID fan foundation on various modulus of elasticity concrete

**Hamid Eskandari [1*], Amir Pakzad [2], Ali Amiri [3], Razieddin Sadati [4]**

*Assistant Professor[1], M.Tech[2]*
*Department of Civil Engineering, Hakim Sabzevari University, Iran*
*Deputy Manager of Lar Cement Co, Sabzevar, Iran[3]*
*Manager of Lar Cement Factory, Sabzevar, Iran[4]*

## Abstract

ID Fan which is used in cement plant are rotating motors that by creating suction, transmit cement production materials generated in the cycle. These engines due to their size and frequency, apply static and dynamic loads on the foundation structure. The properties of concrete requires more attention for analysing and designing of concrete structure due to dynamic loads act on the foundation structure. In this study, finite element method (FEM) is used to investigate the model of ID Fan using Abaqus software. The foundation analysed by four types of concrete with their different modulus of elsticity and the results such as stresses and strains of critical points have been determined.Results indicate that one of the weakness point of these foundations can be holes in the hull structure which are induced for assembly. According to the model when the modolus of elsticity of concrete (Ec) increase, stress and strain will reduce, so it can be concluded that by using high strength concrete as well as high Ec, we can produce optmial design for the concrete foundation.

**Keywords** Concrete Foundation, ID Fan, Compressive Strength, Loading, Modeling.

Conference Cement Industry, Energy and Environment