تحلیل و بررسی رفتار فونداسیون تجهیزات دوار در اثر لرزش ناشی از عملکرد تجهیزات دوار

رضا ولی محمدی، دانشجوی کارشناسی ارشد، موسسه آموزش عالی دانش پژوهان پیشرو[1]

Rezavalimohamadi@gmail.com

حسین عموشاهی، استادیار، دانشگاه اصفهان

Amoushahi62@yahoo.com

Archive of SID

چکیده

با توجه به اهمیت تجهیزات دوار در صنایع و استفاده از طراحی و نقشه های قدیمی شرکت های خارجی، لازم است تحقیقات و پژوهش‌های بیشتری در خصوص تاثیر لرزش ناشی از عملکرد این تجهیزات بر روی فونداسیون آنها صورت پذیرد تا از خرابی‌ها و توقف تولید جلوگیری بعمل آید. در این تحقیق، بررسی رفتار فونداسیون تجهیزات دوار در اثر لرزش ناشی از عملکرد ماشین در فونداسیون با ارتعاش‌های متفاوت منتج از عملکرد تجهیز مورد مطالعه قرار گرفته است. فونداسیون تجهیز از نوع فونداسیون بلوکی بوده و تحت اثر بارهای دینامیکی، بارهای استاتیکی و بارهای ویژه تجهیزات دوار می‌باشد. کلیه ارتعاش‌ها در سه حالت کارکرد نرمال دستگاه، حداکثر دور کارکرد دارای عیب مکانیکی و حداقل دور کارکرد دارای عیب مکانیکی داده‌برداری گردیده و داده‌ها آنالیز و فرکانس منتج از این ارتعاش‌ها در مدل‌سازی به فونداسیون تجهیز منتقل گردیده است. سپس رفتار سازه از نظر تغییر شکل، جابجایی، تنش، رشد و گسترش ترک مورد ارزیابی قرار گرفته است. آنالیز ارتعاشات توسط نرم‌افزارSPECTRA PRO صورت پذیرفته است و مدل‌سازی و تحلیل فونداسیون در نرم‌افزار المان محدود ABAQUS با فرض رفتار غیر خطی مصالح صورت گرفته است. نتایج بدست آمده نشان دهنده این است که هر چه مقدار و زمان ارتعاش بیشتر باشد ترک نیز گسترش بیشتری می یابد و تنش فشاری و تنش کششی مصالح گروت در محل اتصال میله مهار و پد افزایش می‌یابد و باعث تخریب این بخش می گردد که با مشاهدات موردی از نمونه‌های واقعی مطابقت دارد. با افزایش مقاومت فشاری گروت از میزان تنش و ترک کاسته می‌شود.

واژه‌های کلیدی: فونداسیون تجهیزات دوار، المان محدود، تنش فشاری، تنش کششی، گروت

---

[1] نویسنده مسئول

www.SID.ir

۱-مقدمه

تجهیزات دوار جزء تجهیزات کلیدی و پراهمیت صنعت بویژه صنایع نفت، گاز و پتروشیمی می‌باشند. این تجهیزات با توجه به ماهیت عملکردی و مکانیسم عمل دارای لرزش می‌باشند که این لرزش به فونداسیون تجهیز منتقل می‌گردد. هر چند تاکنون مطالعاتی بر روی اثر لرزش در فونداسیون تجهیزات صورت پذیرفته است و در استانداردها و دستورالعمل‌های شرکت‌های مختلف مقادیر و معیارهایی تعریف گردیده است اما متاسفانه برخی از این تحقیقات و یافته‌ها در اختیار عموم محققین و کاربرها قرار نگرفته است. بنابراین بررسی موضوع با توجه به اطلاعات بروز رسانی شده و تحقیقات بروز دارای اهمیت می‌باشد.

با توجه به گسترش و پیشرفت تکنولوژی در زمینه صنایع و ورود ماشین‌ها و تجهیزات با سرعت بالا و به طبع آن افزایش لرزش و انتقال این لرزش به سازه و فونداسیون و نگه‌دارنده-های تجهیزات، بررسی و تحلیل این موضوع جهت تجهیزات دوار بیش از پیش دارای اهمیت است.

تحلیل و طراحی فونداسیون تجهیزات توجه بسیاری نیاز دارد زیرا تنها با بارهای استاتیکی درگیر نیست و بارهای دینامیکی ناشی از کار تجهیز نیز در تحلیل و طراحی دخیل است. تجربه نشان داده است که در صورت عدم طراحی مناسب فونداسیون تجهیزات دوار یا افزایش لرزش و بار دینامیکی و عدم رفع عیوب، عملکرد تجهیزات دچار نقصان شده و به طبع آن تخریب و عیوب فونداسیون تجهیزات با سرعت بیشتری پدیدار می‌گردد که اثرات مخربی بر روی فرآیند تولید خواهد داشت بنابراین بررسی این موضوع دارای اهمیت ویژه‌ای می-باشد.

با ترکیب داده‌برداری میدانی و مدل‌سازی در نرم افزار المان محدود *ABAQUS* بصورت غیر خطی رفتار فونداسیون به عنوان یک سازه از قبیل تغییر مکان، جابجایی، تنش، رشد و گسترش ترک بررسی خواهد شد.

۲-مشخصات سازه، بتن و مصالح فونداسیون، مقادیر ارتعاش، فرضیه‌ها و روش مدلسازی

فونداسیون بر روی یک سطح خاک با چگالی ۱۷۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب، ضریب پواسون ۰/۳ و مدول یانگ ۷۵×۱۰^{۶} استقرار یافته است و بتن مگر و یک سوم از ارتفاع فونداسیون در خاک دفن شده است که می توان در این ارتباط از روابط نواک استفاده نمود و جهت تحلیل دینامیکی ارتعاش، فونداسیون بر روی محیط نیمه بینهایت الاستیک خاک منظور و مدلسازی گردیده است که بتوان اثر ارتعاش را بصورت گهواره‌ای و لغزشی به خوبی مدلسازی نمود.

مکانیک شکست که رفتار ماده را در ترک و نوک ترک بررسی می‌نماید دارای شاخه‌های مختلفی شامل مکانیک شکست مواد شکل پذیر، ترد و شبه ترد است. رویکرد الاستیک خطی مکانیک شکست[۲] که برای مصالح ترد مانند شیشه استفاده می‌گردد. برای مصالحی همچون بتن که در زمره مواد شبه ترد قرار دارد با توجه به ساختار تشکیل دهنده بتن که

[2] Linear Elastic Fracture Mechanics

Archive of SID

www.SID.ir

شامل سیمان، سنگدانه‌های ریز و درشت، آب و افزودنی‌های مختلف با نسبت‌های ترکیب متفاوت و همچنین تخلخل موجود در بتن است، رویکرد خطی قابل استفاده نمی‌باشد و می بایست از رویکرد غیرخطی در مکانیک شکست استفاده نمود.

در مباحث مکانیک شکست بتن و با رویکرد المان محدود، دو رویکرد ترک پخشی[۳] و ترک مجزا[۴] وجود دارد. در رویکرد ترک پخشی، المان حاوی ترک به صورت یک محیط پیوسته در نظر گرفته می‌شود که روابط المان محدود حاکم بر آن تغییر کرده‌است. بطور مثال رابطه تنش-کرنش متناسب با شرایط بتن ترک خورده اصلاح می‌شود. این روش به علت فرض پیوسته بودن محیط ماده شرایط مناسب‌تری برای محاسبات کامپیوتری دارد اما نقطه ضعف آن این است که رفتار بتن ترک خورده را به صورت تقریبی پیش بینی می کند و نمی تواند اطلاعات دقیقی از بازشدگی دهانه ترک یا مسیر ترک را بیان نماید. در روش ترک مجازی ذیل رویکرد ترک مجزا، بتن به عنوان یک نهاد هندسی معرفی می‌گردد و در آن شرایط ناحیه پیشرفت شکست[۵] از جمله شکل هندسی و نیروهای چسبندگی به عنوان بخشی از شرایط مرزی مسئله مد نظر قرار خواهد گرفت. بدلیل نزدیک بودن رویکرد تحلیلی در این روش به وضعیت فیزیکی حقیقی ماده، این روش دقیق ترین روش تحلیل ترک در بتن است.

در مدل ترک مجازی دو مفهوم اصلی عبارتند از ناحیه پیشرفت ترک و تابع نرم شوندگی کششی، ناحیه پیشرفت ترک دراز و باریک و ناحیه‌ای است شامل ریز ترک‌ها که همچنان المان‌هایی در آن وجود دارند که نیرو را منتقل می کنند بنابراین در تحلیل ترک با استفاده از مدل ترک مجازی، علاوه بر میدان‌های تنش و کرنش، می‌بایست شکل هندسی المان ها و نیروهای چسبندگی که خود مشخص کننده شرایط مرزی مسئله هستند نیز برای حل مسئله مد نظر قرار گیرند.

مدل خسارت پلاستیک بتن[۶] تکنیکی است که قابلیت نشان دادن رفتار غیرخطی و خصوصیات خرابی مواد شبه ترد همچون بتن را دارد. تعیین رفتار غیرخطی بتن مهمترین مرحله در مدلسازی عددی سازه های بتن آرمه می‌باشد. در نرم افزار المان محدود آباکوس، رفتار غیرخطی مصالح ترد را می توان به سه روش؛ مدل ترک پخشی، مدل شکست ترد و مدل خسارت پلاستیک بتن تعریف کرد. هر یک از این مدل‌ها دارای مزایایی می باشند که می توانند بر حسب نیاز مورد استفاده قرار گیرند. مدل خسارت بتن تنها مدلی است که در هر دو تحلیل استاتیکی و دینامیکی قابل استفاده است. در این مدل فرض بر این است که ترک کششی و خرد شدگی فشاری دو جنبه اصلی مکانیسم گسیختگی بتن می باشد و برای مدل سازی شکست مصالح ترد تحت بارگذاریهای چرخه-ای(کشش و فشار متناوب) همانند ارتعاش طراحی شده است به طوری که امکان بازیابی سختی در طی بارهای رفت و برگشتی وجود دارد. این مدل توانایی پیشگویی محل و جهت تشکیل ترک را دارا می‌باشد. به منظور اجتناب از خرابی های زیاد در المان‌ها، مش بندی المان‌ها در مدل خسارت پلاستیک بتن می‌بایست در چند مرحله بازنگری گردد یا از تکنیک Adaptive Meshing استفاده گردد. مدل خسارت

[3] Smeared Crack
[4] Discrete Crack
[5] Fracture Process Zone
[6] Concrete Damage Plasticity

Archive of SID

پلاستیک بتن تعمیم یافته معیار شکست دراگر-پراگر می باشد.

پتانسیل خروج از مرکزیت پلاستیک عدد کوچک مثبتی است که برابر نسبت مقاومت کششی به مقاومت فشاری بتن می باشد. مقدار پیش فرض آن ۰/۱ است. وقتی که این عدد صفر باشد در واقع شکل خطوط تبدیل به یک خط راست می شود. نسبت نشان داده شده در رابطه (۱) مقاومت فشاری دو محوره بتن به مقاومت فشاری تک محوره می‌باشد.

$$f_{b0}/f_c \qquad (۱)$$

نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داده است که رابطه بین مقاومت فشاری تک محوره و دو محوره بتن مطابق رابطه (۲) می باشد.

$$f_{b0} = 0/16860347548264\, f_c \qquad (۲)$$

زاویه اتساع (Ψ) شیب صفحه گسیختگی به طرف صفحه هیدرواستاتیک در صفحه خطی می‌باشد. از لحاظ فیزیکی زاویه اتساع (Ψ) زاویه اصطکاک داخلی بتن می‌باشد که در اغلب موارد مقدار آن ۳۶ یا ۴۰ فرض می‌شود. پارامتر ویسکو الاستیک(μ) که در مدل خسارت پلاستیک وجود دارد در واقع برای همگرایی بهتر از گام‌های آباکوس استاندارد استفاده می‌شود و مقدار آن را بایستی با چند بار تحلیل بدست آورد. پارامتر ویسکو الاستیک کوچکترین عدد مثبتی است که باعث همگرایی بهتر تحلیل می‌شود. این پارامتر امکان خروج تدریجی از سطح پتانسیل پلاستیک را در شرایط ناهمگرایی های جزئی تحلیل را فراهم می‌سازد.

مقادیر داده‌های مورد استفاده بر اساس روابط معمول و مقادیر ذکر شده در محاسبات فونداسیون تجهیزات در جداول ۱ تا ۶ بیان گردید است.

در بخش اول استاندارد ایزو ۱۰۸۱۶ (۱-۱۰۸۱۶) مقادیر مجاز ارتعاش با توجه به کلاس بندی تعریف شده در آن قید گردیده است که در پیوست (الف) به اختصار بیان گردیده است و با توجه به این مقادیر ارتعاش در حالت نرمال و سپس با افزایش ارتعاش به حد خارج از محدوده قابل پذیرش به فونداسیون اعمال می‌گردد که نتایج مقایسه و مشاهده می-گردد.

با توجه به قرار داشتن تجهیز دوار مورد مطالعه در کلاس ۱ (Class 1)و میزان ارتعاش نرمال در محدوده مطلوب (A)شکل (۱) و سپس ارتعاش خارج از محدوده قابل قبول (D) شکل (۲)، ارتعاش اعمال شده است.

جدول (۱): مشخصات مصالح بتن و فولاد

f'_c Concrete	**30 MPa**
Concrete E	**30590 MPa**
Concrete ρ	**2400 kg/m³**
Concrete ν	**0.2**
f'_c Grout	**30 MPa**
Grout E	**31876 MPa**
Grout ρ	**2000 kg/m³**
Grout ν	**0.2**
f_y Steel	**338.5 MPa**
Steel E	**200000 MPa**
Steel ρ	**7850 kg/m³**
Steel ν	**0.3**

جدول (۲): مقادیر پارامترهای مدل خسارت پلاستیک بتن

Dilation Angle	**30**
Eccentricity	**0.1**
f_{b_0}/f_{c_0}	**1.16**

Archive of SID

www.SID.ir

K	**0.67**
Viscosity Parameter	**0.001**

جدول (۳): مقادیر پارامترهای تنش-کرنش فشاری بتن

Yield Stress (MPa)	Inelastic Strain
19.74	**0**
23.21	**0.0000139112**
27.81	**0.000218374**
29.91	**0.000729167**
24.56	**0.001840651**
18.58	**0.002872025**
11.10	**0.005056647**
7.35	**0.006958593**

جدول (۴): مقادیر پارامترهای تنش-کرنش کششی بتن

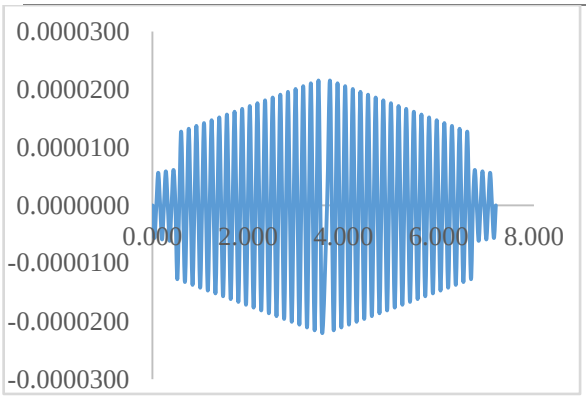
Yield Stress (MPa)	Cracking Strain
29.91	**0**
0	**0.00127**

جدول (۵): مقادیر پارامترهای آسیب فشاری بتن

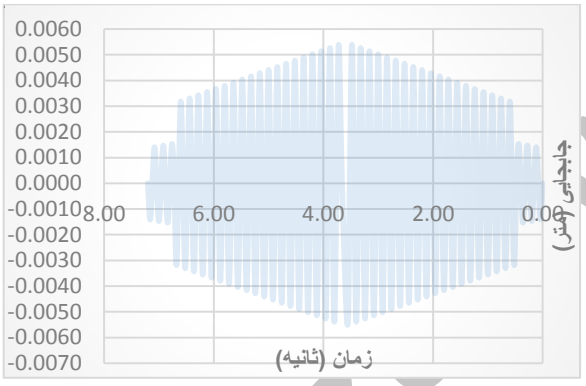
Damage Parameter	Inelastic Strain
0	**0**
0	**0.0000139112**
0	**0.000218374**
0	**0.000729167**
0.1	**0.001840651**
0.3	**0.002872025**
0.5	**0.005056647**
0.7	**0.006958593**

جدول (۶): مقادیر پارامترهای آسیب کششی بتن

Damage Parameter	Cracking Strain
0	**0**
0.996	**0.00127**



شکل (۱) : مقادیر ارتعاش وارد شده به فونداسیون در مرحله اول



شکل (۲) : مقادیر ارتعاش وارد شده به فونداسیون در مرحله دوم

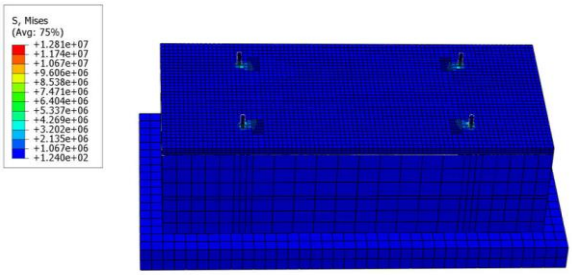
۳- نتایج و بحث

با اعمال ارتعاش به فونداسیون با مقادیر ارتعاش در حالت نرمال سازه دچار تغییر شکل و ترک نمی‌گردد (شکل ۵و۶و۷) ولی با افزایش مقدار ارتعاش به خارج از محدوده قابل پذیرش گروت سطح فونداسیون و فونداسیون سازه و گروت اطراف میله‌های مهار دچار ترک خوردگی می‌گردد (شکل ۸و۹و۱۰و۱۱) که با نمونه‌های واقعی منطبق می‌باشد(شکل ۱۲و۱۳). با افزایش مقاومت فشاری گروت به میزان ۲۵

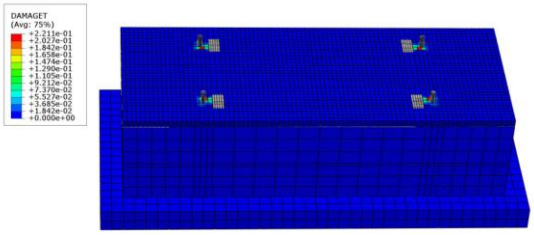
Archive of SID

www.SID.ir

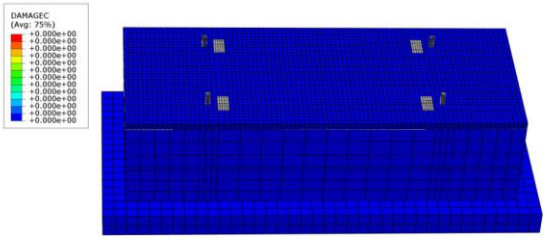
درصد، سازه در مقابل ارتعاش خارج از محدوده قابل پـذیرش نیـز مقاومـت خـوبی را از خـود بـروز مـی‌دهـد و تـرک در فونداسیون و گروت از بین می‌رود(شکل ۱۴و۱۵و۱۶).



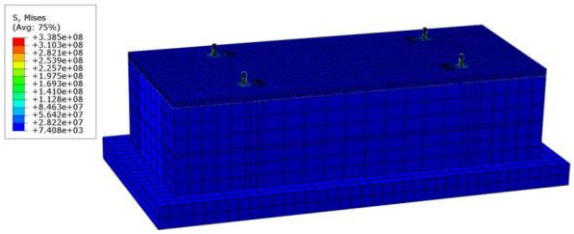
شکل (۵) : مقادیر تنش فون میزز فونداسیون – اعمال ارتعاش بر روی فونداسیون با مقادیر قابل پذیرش



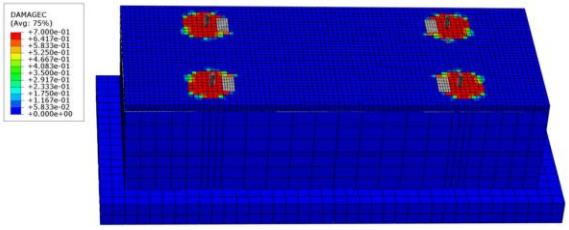
شکل (۶) : کانتور تنش کششی-اعمال ارتعاش بر روی فونداسیون با مقادیر قابل پذیرش



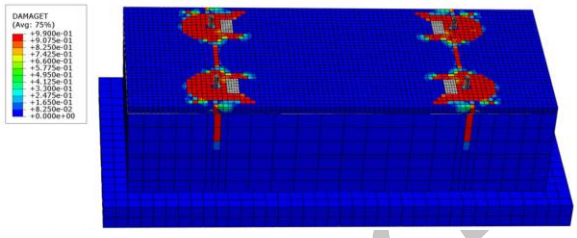
شکل (۷) : کانتور تنش فشاری-اعمال ارتعاش بر روی فونداسیون با مقادیر قابل پذیرش



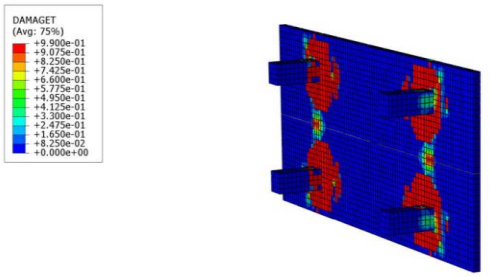
شکل (۸) : کانتور تنش فون میزز-اعمال ارتعاش بر روی فونداسیون با مقادیر خارج از حدود قابل پذیرش



شکل (۹) : کانتور تنش فشاری-اعمال ارتعاش بر روی فونداسیون با مقادیر خارج از حدود قابل پذیرش



شکل (۱۰) : کانتور تنش کششی-اعمال ارتعاش بر روی فونداسیون با مقادیر خارج از حدود قابل پذیرش



شکل (۱۱) : کانتور تنش کششی در المان گروت سطح فونداسیون و گروت اطراف میله‌های مهار-

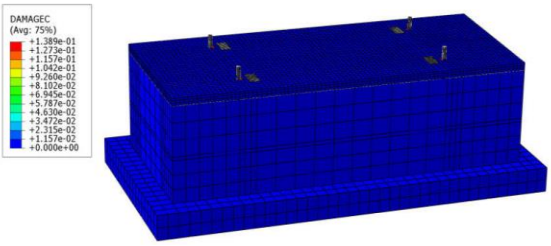
Archive of SID

www.SID.ir

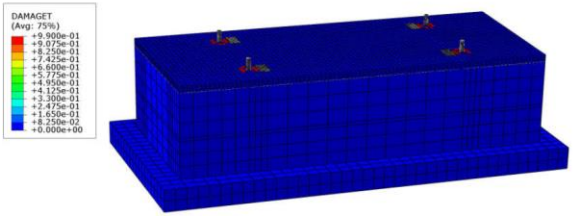
اعمال ارتعاش بر روی فونداسیون با مقادیر خارج از حدود قابل پذیرش

شکل (۱۲) : تصویر نمونه فونداسیون پمپ

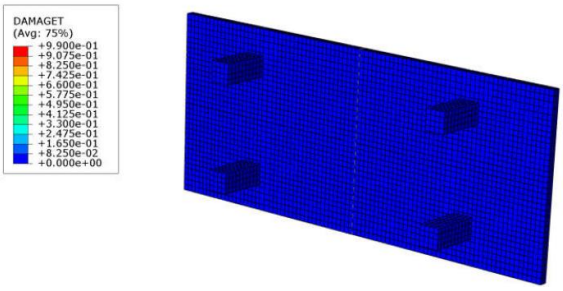
شکل (۱۳) : تصویر نمونه فونداسیون پمپ



شکل (۱۴) : کانتور تنش فشاری-اعمال ارتعاش بر روی فونداسیون با مقادیر خارج از حدود قابل پذیرش و تقویت مقاومت فشاری گروت به میزان ۲۵ درصد



شکل (۱۵) : کانتور تنش کششی-اعمال ارتعاش بر روی فونداسیون با مقادیر خارج از حدود قابل پذیرش و تقویت مقاومت فشاری گروت به میزان ۲۵ درصد



شکل (۱۶) : کانتور تنش کششی در المان گروت سطح فونداسیون و گروت اطراف میله‌های مهار - اعمال ارتعاش بر روی فونداسیون با مقادیر خارج از حدود قابل پذیرش و تقویت مقاومت فشاری گروت به میزان ۲۵ درصد

۴- نتیجه گیری

- با اعمال ارتعاش در محدوده مجاز استاندارد ایزو ۱۰۸۱۶ (Zone A, Zone B) می‌توان مشاهده نمود که فونداسیون دچار ترک نمی‌گردد و با افزایش مقادیر ارتعاش و خارج شدن از محدوده قابل پذیرش و به ناچار قرار گرفتن در محدوده غیرمجاز (Zone C, Zone D) ترک ها از سطح گروت نمایان و به فونداسیون و گروت اطراف میله‌های مهار انتشار می‌یابد.

-با افزایش مقاومت فشاری گروت به میزان ۲۵ درصد و با افزایش مقادیر ارتعاش و خارج شدن از محدوده قابل پذیرش و به ناچار قرار گرفتن در محدوده غیرمجاز (Zone C, Zone D) ترک ها فقط بصورت سطحی در گروت سطح فونداسیون مشاهده می-گردد و عمق ترک محدود به سطح گروت می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

-بیشترین تغییر مکان در راستای X به میزان $2/12381 e^{-5}$ متر مشاهده می‌گردد.

-بیشترین تغییر مکان در راستای Y به میزان $1/08645 e^{-5}$ متر مشاهده می‌گردد.

-بیشترین تغییر مکان در راستای Z به میزان $0/005022$ متر مشاهده می‌گردد.

۵- پیوست

پیوست (۱الف): میزان ارتعاش و کلاس بندی آن منطبق با استاندارد ایزو ۱۰۸۱۶

RMS Vibration Velocity(mm/s)	RMS Vibration Velocity(ips-pk)	"Derived Peak" Vibration Velocity(ips-pk)	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4
0.28	0.01	0.02	A	A	A	**A**
0.45	0.02	0.03	A	A	A	**A**
0.71	0.03	0.04	A	A	A	**A**
1.12	0.04	0.06	B	A	A	**A**
1.8	0.07	0.10	B	B	A	**A**
2.8	0.11	0.16	C	B	B	**A**
4.5	0.18	0.25	C	C	B	**B**
7.1	0.28	0.40	D	C	C	**B**
11.2	0.44	0.62	D	D	C	**C**
18	0.71	1.00	D	D	D	**C**
28	1.10	1.56	D	D	D	**D**
45	1.77	2.51	D	D	D	**D**

Zone A – Newly commissioned machinery. Excellent Condition.

Zone B – Good. Acceptable for unrestricted, long-term operation.

Zone C – Unsatisfactory for long-term, continuous operation (alert level).

Zone D – Bad. Sufficient severity to cause long-term damage to machine (alarm level).

Class 1 – Very small machinery or parts of machinery (20 HP or below)

Class 2 – Small machinery (20-100 HP) on rigid foundations.

Class 3 – Large machinery mounted on rigid & heavy foundations.

Class 4 – Large machinery mounted on relatively soft foundations.

۶-منابع مورد استفاده

ابراهیمی، ع.، موسوی، س.ر.، بهرام‌پور، ع.، بهزاد، م.، "عیب یابی در کمپرسورهای رفت و برگشتی: یک مطالعه موردی"، چهارمین کنفرانس تخصصی پایش وضعیت و عیب یابی ماشین آلات، ۱۳۸۸.

اقبالی، ا .ح.،فرح بخش، س.، "تاثیر حرکت گهواره ای بر شالوده ماشین آلات"، سومین کنفرانس سراسری توسعه محوری مهندسی عمران، معماری، برق و مکانیک، ۱۳۹۵.

باقری ب، عباسی م، کتابچی م.، "*مرجع کاربردی نرم افزار Abaqus*.۱۳۹۱"، کیان رایانه سبز، ویرایش اول، تهران،

پیامنی، م.،رسولی، س.، " عیب یابی پایه‌های ماشین‌آلات دوار به کمک آنالیز ارتعاشات"، سومین کنفرانس تخصصی پایش وضعیت و عیب یابی ماشین آلات، ۱۳۸۷.

خلخالی، ا.، "*تحلیل اجزای محدود به کمک Abaqus*"، موسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران، ویرایش اول، تهران، ۱۳۹۲.

دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان.، "مبحث هفتم مقررات ملی ساختمان"، ویرایش چهارم، ۱۳۹۲.

موسوی، م.، رافضی، ب.، عثمان زاده، ف.، آهنی، ا.، "تعیین پارامترهای مدل خسارت پلاستیک بتن برای مدل سازی عددی قاب های بتن آرمه"، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱۳۹۲.

Archive of SID

www.SID.ir

Kempfert H G., Gebreselassie B., *Excavations and Foundations in Soft Soils*, 1st edition, Springer Berlin, 2006.

Maurice L., Adams JR.,*Rotating Machinery Vibration from Analysis to Troubleshooting*,Marcel Dekker Inc, New York, 2001.

Munde K.H., "Vibration Analysis of Roto Dynamic Model: Foundation", *International Journal of Engineering Science and Computing*, Vol.6, No.5, pp.5489-5492, 2016.

Murthy V.N.S., *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 3rd edition, Vol.2, Sai Kripa, India, 1984.

Mustata S.C,Dracea D.,Tronac A.S.,Sarbo N.,Constantin E.,"Diagnosis and Vibration Diminishing in Pump Operation",*Procedia Engineering*,Vol.100,pp.970-976,2015.

Novak M., "Coupled Horizontal and Rocking Vibration of Embedded Footings", *World Conference on Earthquake 5th*, Vol.2, No.5, pp.2658-2661, 1973.

Ojekunle V.O., Chen S.,Yu F.,Li J., Dai Z.,"Dynamic Analysis of Gas Turbine Foundation Design", *International Conference Power and Energy ,Environment*, 2016.

Patel S.U, Mangukiya H.S., Miyani A.L.,Patel H.A, Vora S.V., Sevelia J.K., "Dynamic Analysis of Foundation Supporting Rotary Machine", *World Conference on Earthquake 5th*, Vol.2, No.5, pp.34-45, 2015.

Srinivasulu P., Vaidyanathan C.V., Handbook of Machine Foundations,*New Dehli*,India, 1976.

Van Koten H., "Vibrations of Machine Foundations and Surrounding Soil", *HERON*, Vol.57, No.1, pp.29-54, 2012.

ACI Committee 351.3R-18, "*Foundation for Dynamic Equipment*", ACI , 2018.

Arya C.S., O'Neill M.W., Pincus G., *Design of Structures and Foundations for Vibrating Machines*,Gulf Publishing Company, pp.1, Huston, USA, 1984.

Bhandari P.K., Sengupta A., "Dynamic Analysis of Machine Foundation",*International Journal of Innovative Research in Science,Engineering and Technology*, Vol.3, No.4, pp.169-176, 2014.

Bhattacharya K., Mondal A.,Mukherjee S.,"Effect of Embedment on Vibration and Dynamic Soil Parameters for Block Foundation of Reciprocating Type of Machines", *Indian Geotechnical Conference 50th*, 2015.

Beredugo Y.O.,Novak M., "Coupled Horizontal and Rocking Vibration of Embedded Footings", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.9, No.477, pp.477-497, 1972.

Day Robert W., *Foundation Engineering Handbook, Design and Construction With the 2009 Internatyional Building Code*, 2nd edition, McGraw Hill Publications, 2009.

Ferro R.M.,Ferrerira W.G., Calenzani A.F.G., "Dynamic Analysis of Support Frame Structures of Rotating Machinery", *Global Journal of Researches In Engineering,Civil and Structural Engineering* , Vol.14, No.5, pp.27-31, 2014.

Han Y., "Coupled Vibration of Embedded Foundation", *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol.115, No.9, pp.1227-1238, 1989.

ISO10816-1., *Mechanical Vibration-Evalution of Machine Vibration by Measurements on Non-Rotating Parts-Part 1: General Guidelines,First Edition, Iso,Switzerland*, 1995.

Jayarajan P., Kouzer K.M.,"Dynamic Analysis of Turbo-generator Machine Foundations", *Journal of Civil Engineering and Environmental Technology*, Vol.1, No.4, pp.30-35, 2014.

Archive of SID

www.SID.ir

۷- چکیده انگلیسی

Considering the importance of rotating equipment in the industry and the use of the design and the old designs of foreign companies, further research is needed on the effect of the vibration caused by the operation of this equipment on their foundation, in order to prevent breakdowns and stops. Production is to be prevented. In this research, the study of the foundation's behavior of rotating equipment due to vibration caused by machine operation in a foundation with different vibrations resulting from equipment performance has been studied. The foundation of the equipment is a block foundation type, under the influence of dynamic loads, static loads and special rotary loads. All vibrations were transmitted in three modes of normal operation of the device, maximum working range with mechanical defect and minimum working range with mechanical defect. Data analysis and frequency resulting from these vibrations were transferred to the foundation for equipping with modeling. Then structural behavior has been evaluated in terms of deformation, displacement, stress, growth and expansion of the crack. The vibration analysis was performed by the SPECTRA PRO software and the foundation modeling and analysis in the ABAQUS finite element software is assumed with the assumption of nonlinear behavior of the material. The results show that the higher the amount and time of vibration, the more crack cracking and the compressive stresses and tensile stresses of the grout materials at the point of attachment of the rod and the pad increase, causing the destruction of this section, which Case observations correspond to actual samples. With increasing compressive strength, grout decreases the tension and cracking.

Keywords: Rotary Equipment Foundation, Finite Element, Compression Stress, Tensile Stress, Grout

Archive of SID

www.SID.ir