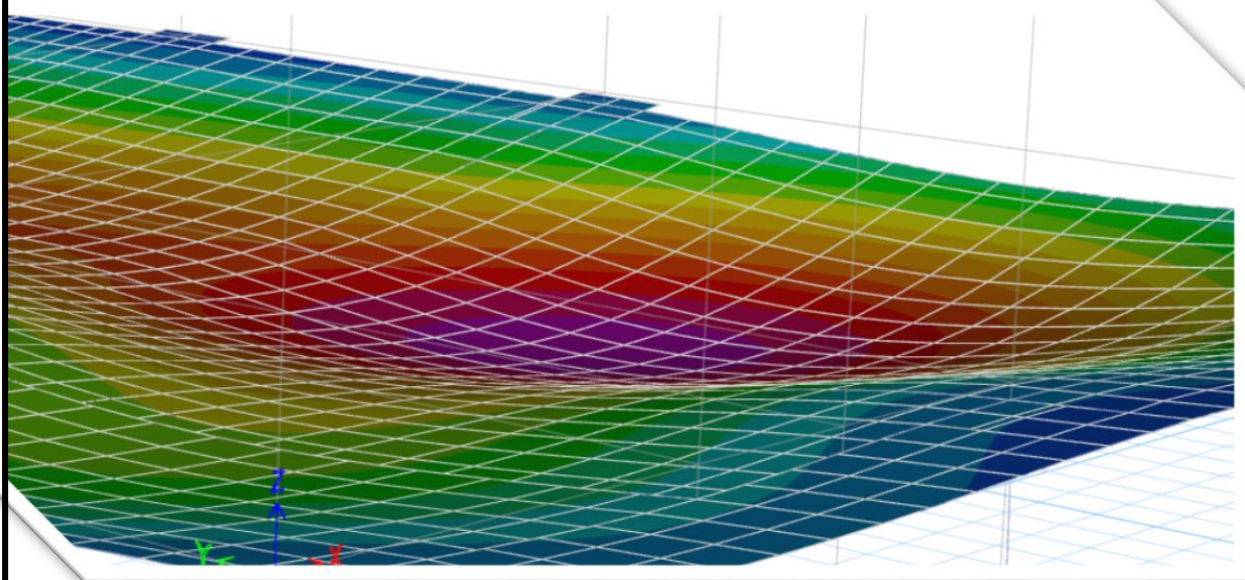


بررسی لرزش و ارتعاش کف های بتنی



SAFE Post Tensioning 64-bit

Version 20.2.0 Build 1919

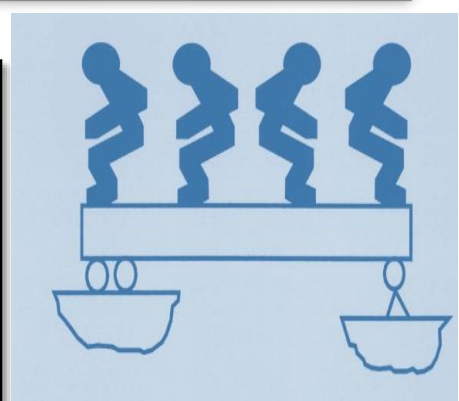
Analysis and Design of Floor Systems

Copyright © 1984-2022 Computers and Structures, Inc.

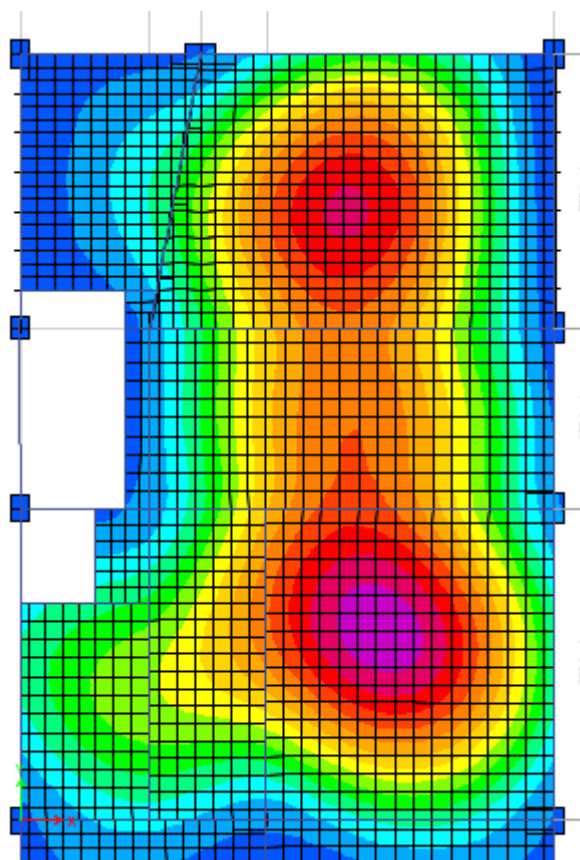
A product of:

Computers and Structures, Inc.

web: www.csiamerica.com



۱- بررسی ارتعاش کف ها براساس مبحث نهم



قدم اول در کنترل ارتعاش کف ها محاسبه فرکانس ارتعاش کف است که مبحث نهم رابطه ای ساده برای محاسبه فرکانس براساس تغییر شکل کف ارائه نموده است. که در این قسمت به محاسبه آن پرداخته می شود.

نرم افزار SAFE هم قادر به محاسبه فرکانس کف می باشد. در روش های دوم و سوم با استفاده از این نرم افزار فرکانس محاسبه می شود.

۹-۱۹-۵ ارتعاش (لرزش)

کفها و تیرهایی که سطوح خالی از تیغه بندی های ممتد تا سقف (یا خالی از عناصر دیگری که خاصیت میرا کنندگی ارتعاش را دارند) را تحمل می کنند، باید با توجه خاص به لرزش و ارتعاش حاصل از بارهای جنبشی (نظیر بارهای ناشی از حرکت افراد، کارکرد ماشین آلات، حرکت و توقف آسانسورها و نظایر آنها) طراحی شوند. بدین منظور فرکانس نوسانی کفها (تیرچه ها، دال ها و تیرها) باید به اندازه ای باشد که حداقل حساسیت افراد را در برابر ارتعاش قائم ایجاد نماید. حداقل فرکانس دوره ای کفها برای کاربری های مختلف نباید از مقادیر مشخص شده در جدول ۹-۱۹-۴ کمتر باشد:

۹-۱۹ الزامات بهره‌برداري

جدول ۹-۱۹-۴ حداقل فرکانس دوره‌ای کف‌ها

نوع کاربري	حداقل فرکانس دوره‌ای کف‌ها (f)
ساختمان‌های مسکونی و اداری	$f \geq 5 \text{ Hz}$
ساختمان‌های تجاری-فروشگاه‌ها	$f \geq 4 \text{ Hz}$
سالن‌های اجتماعات با صندلی‌های ثابت	$f \geq 4 \text{ Hz}$
سالن‌های اجتماعات بدون صندلی‌های ثابت	$f \geq 8.5 \text{ Hz}$
تعمیرگاه‌ها، سالن‌های ژیمناستیک و ورزشی	$f \geq 9.5 \text{ Hz}$
پارکینگ‌ها	$f \geq 4 \text{ Hz}$

در محاسبه‌ی فرکانس دوره‌ای ارتعاش کف‌ها، باید اثر ترک خوردگی قطعات، با منظور نمودن ممان اینرسی مؤثر، I_e ، متناظر با بارهای مرده و زنده‌ی بدون ضریب، در محاسبه‌ی تغییر شکل‌ها مورد توجه قرار گیرد. این تغییر شکل‌ها مربوط به اثر بارهای مرده و بخشی از بارهای زنده که دائمی فرض می‌شود (بدون ضرایب بار) بوده و ضریب ارتجاعی دینامیکی بتن $1/25$ برابر مقدار E_c منظور می‌گردد.

برای محاسبه‌ی فرکانس دوره‌ای، f ، می‌توان از رابطه‌ی (۹-۱۹-۶) استفاده نمود.

$$f = \frac{18}{\sqrt{\Delta_{is}}} \quad (۹-۱۹-۶)$$

که در آن Δ_{is} تغییر مکان استاتیکی قائم حداکثر کف تحت اثر بار مرده و بخشی از بار زنده که دائمی فرض می‌شود (بر حسب میلی‌متر)، و f فرکانس دوره‌ای ارتعاش بر حسب هرتز می‌باشد. در صورتی که به مطالعات جامع‌تر برای ارتعاش کف‌ها نیاز باشد می‌توان از مراجع معتبر بین‌المللی دیگر بجای رابطه ۹-۱۹-۶ و جدول ۹-۱۹-۴ استفاده نمود.

Material Property Data

General Data

Material Name:

Material Type:

Directional Symmetry Type:

Material Display Color:

Material Notes:

Material Weight and Mass

☐ Specify Weight Density ☒ Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: kgf/cm³

Mass per Unit Volume: kgf-s²/cm⁴

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: kgf/cm² (1.25 × 240000 = 300000)

Poisson's Ratio, U:

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1/C

Shear Modulus, G: kgf/cm²

Design Property Data

Advanced Material Property Data

Modulus of Rupture for Cracked Deflections

☒ Program Default (Based on Concrete Slab Design Code)

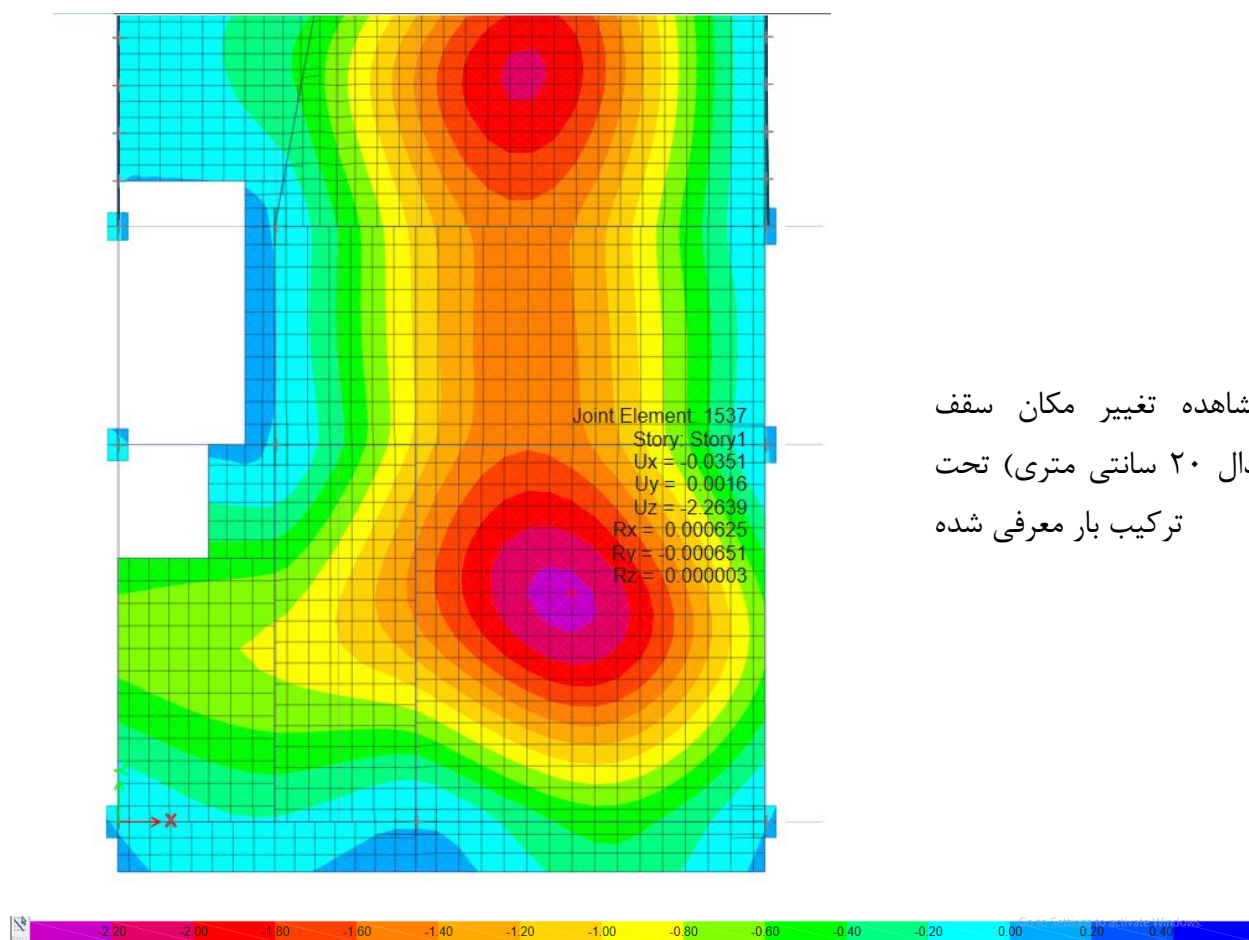
☐ User Specified

برای محاسبه ارتعاش باید تغییر شکل کف در اثر بارهای دائمی بدست آید. همانطور که در مبحث نهم آمده است مدول الاستیسیته بتن در ۱/۲۵ ضرب می گردد:

α : درصد بار زنده دائمی (۲۵ درصد عدد مناسبی است).

نکته: با توجه به آنالیز ترکخوردگی در نرم افزار SAFE نیازی به اصلاح سختی تیر و دال نیست.

برای دریافت مقالات بروز شده و ارائه نظرات و پیشنهادات و سوالات به کانال تلگرامی به آدرس t.me/Aghazadeh_Civil مراجعه شود.



مشاهده تغییر مکان سقف
(دال ۲۰ سانتی متری) تحت
ترکیب بار معرفی شده

براساس رابطه ارائه شده:

$$f = \frac{18}{\sqrt{\Delta_{ts}}} = \frac{18}{\sqrt{22.639 \text{ mm}}} = 3.79 \text{ HZ}$$

این فرکانس بایستی بیشتر از ۵ باشد این سقف با توجه به جدول ۹-۱۹-۴ برای ساختمان مسکونی قابل قبول نیست.

نکته : حداقل فرکانس دوره ای ۵ هرتز برای کف های با سطوح خالی از تیغه بندی های ممتد تا سقف می باشد.

آیا کف ساختمان مسکونی دارای چنین ویژگی می باشد؟

۲- محاسبه فرکانس کف با استفاده از SAFE روش دوم:

در روش دوم فرکانس کف به کمک نرم افزار SAFE محاسبه می شود.

باید برای آنالیز مودال، جرم موثر کف تعریف شود:

Mass Source Data

Mass Source Name:

Mass Source

- ☐ Element Self Mass
- ☐ Additional Mass
- ☒ Specified Load Patterns
- ☐ Adjust Diaphragm Lateral Mass to Move Mass Centroid by:
 - This Ratio of Diaphragm Width in X Direction:
 - This Ratio of Diaphragm Width in Y Direction:

Mass Multipliers for Load Patterns

Load Pattern	Multiplier
DEAD	1
DEAD	1
SP	1
PART	1
RLIVE	0.25
LIVE	0.25

Mass Options

- ☐ Include Lateral Mass
- ☒ Include Vertical Mass

Buttons: Add, Modify, Delete, OK, Cancel

برای محاسبه ارتعاش همانطور که در مبحث نهم آمده است مدول الاستیسیته بتن در ۱/۲۵ ضرب می گردد:

در این روش بایستی سختی المان های تیر و دال اصلاح شوند چون محاسبات مودال با شرایط اولیه صفر انجام می شود. (از ضرایب ترک خوردگی یا اصلاح سختی بهره برداری استفاده می شود که برای تیرها برابر ۰/۵ می باشد و برای دال ها از ضریب ۰/۳۵ استفاده می شود)

Load Case Data

General

Load Case Name: ACASE6

Load Case Type/Subtype: Modal Ritz Eigen

Mass Source: MsSrc1

Analysis Model: Default

Initial Conditions

☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State

☐ Use Nonlinear Case (Loads at End of Case NOT Included)

Nonlinear Case:

Loads Applied

Load Type	Load Name	Maximum Cycles	Target Dyn. Par. Ratio, %
Acceleration	UZ	0	0

Other Parameters

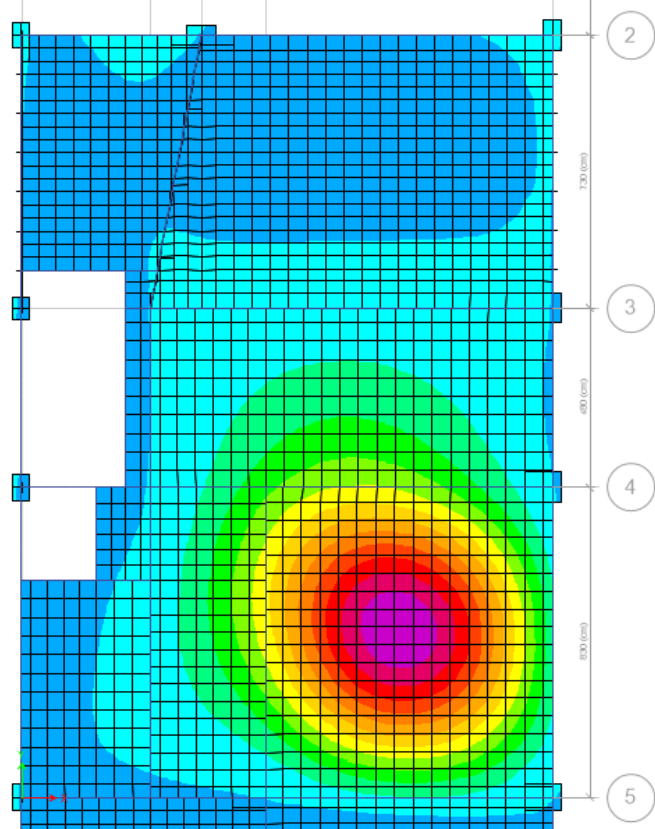
Maximum Number of Modes: 12

Minimum Number of Modes: 1

OK Cancel

معرفی حالت بار دینامیکی:

Plan View - Story1 - Z = 0 (cm) Mode Shape (ACASE6) - Mode 1 - Period 0.20507733628659



پس از تحلیل سازه، زمان تناوب (پریود) کف قابل مشاهده است.

فرکانس کف

$$f_n = \frac{1}{0.2050} = 4.88 \text{ Hz}$$

که طبق مبحث نهم کمتر از ۵ است و قابل قبول نیست.

۳- محاسبه فرکانس کف با استفاده از SAFE روش سوم:

همانند روش قبلی باید برای آنالیز مودال جرم موثر کف تعریف شود:

Mass Source Data

Mass Source Name:

Mass Source

☐ Element Self Mass

☐ Additional Mass

☒ Specified Load Patterns

☐ Adjust Diaphragm Lateral Mass to Move Mass Centroid by:

This Ratio of Diaphragm Width in X Direction:

This Ratio of Diaphragm Width in Y Direction:

Mass Multipliers for Load Patterns

Load Pattern	Multiplier
DEAD	1
DEAD	1
SP	1
PART	1
RLIVE	0.25
LIVE	0.25

Mass Options

☐ Include Lateral Mass

☒ Include Vertical Mass

OK Cancel

همانطور که در مبحث نهم آمده است مدول الاستیسیته بتن در $1/25$ ضرب می گردد:

Material Property Data

General Data

Material Name: MAT1

Material Type: Concrete

Directional Symmetry Type: Isotropic

Material Display Color: [Blue] Change...

Material Notes: Modify/Show Notes...

Material Weight and Mass

☐ Specify Weight Density ☒ Specify Mass Density

Weight per Unit Volume: 0.0025 kgf/cm³

Mass per Unit Volume: 0.000002 kgf-s²/cm⁴

Mechanical Property Data

Modulus of Elasticity, E: $1.25 \times 240000 = 300000$ kgf/cm²

Poisson's Ratio, U: 0.2

Coefficient of Thermal Expansion, A: 0.0000099 1/C

Shear Modulus, G: 125000 kgf/cm²

Design Property Data

Modify/Show Material Property Design Data...

Advanced Material Property Data

Time Dependent Properties...

Modulus of Rupture for Cracked Deflections

☒ Program Default (Based on Concrete Slab Design Code)

☐ User Specified

OK Cancel

در روش قبل بایستی سختی المان های تیر و دال اصلاح می شد چون محاسبات مودال با شرایط اولیه صفر تعریف شده بود. اما در این روش از شرایطی استفاده می کنیم که سازه تغییر مکان استاتیکی قائم حداکثر کف تحت بار مرده و بخشی از بار زنده که دائمی فرض می گردد را متحمل شده است.

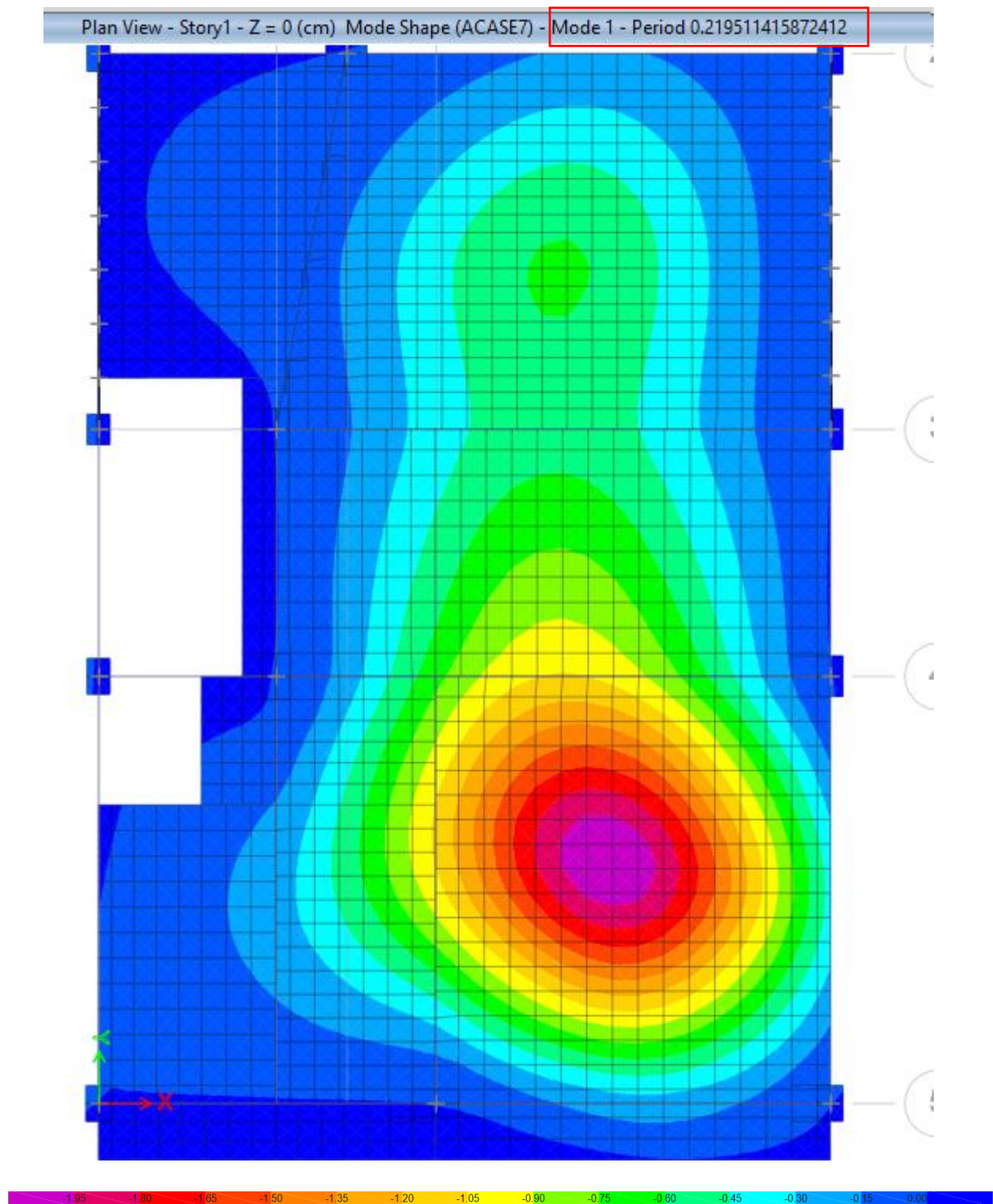
(تغییر شکل آنی برای بارهای دائمی)

$$(\Delta_{Sus.i} = \Delta_{Dead} + Sp + \alpha \% Live)$$

α : درصد بار زنده دائمی (۲۵ درصد عدد مناسبی است)

بنابراین در این روش دیگر نیازی به اصلاح سختی المان های تیر و دال نیست.

معرفی حالت بار دینامیکی:



$$f_n = \frac{1}{0.219} = 4.56 \text{ Hz}$$

طبق مبحث نهم این فرکانس کمتر از ۵ است و قابل قبول نیست.

بررسی ارتعاش کف براساس ATC99 :

همانطور که قبلاً گفته شد حداقل فرکانس کف در جدول ۹-۱۹-۴ براساس عدم خاصیت میراکنندگی ارتعاش توسط تیغه ها ارائه شده است. اما در عمل مبلمان و تیغه ها در اکثر ساختمان های مسکونی اداری تجاری و... باعث میرایی ارتعاش شده و باید در کنترل ارتعاش و لرزش کف ها مد نظر قرار گیرد.

یکی از مراجع معروفی که در این زمینه راه حل های منطقی و عددی ارائه می دهد مرجع بین المللی ATC (Applied Technology Council) می باشد. طبق ضوابطی که در ادامه خواهد آمد به این امر مبادرت می ورزد و در این محاسبات صرفاً به فرکانس کف اکتفا نمی کند بلکه شتاب کف را (a_p) نیز در نظر می گیرد. و بعد از محاسبه $\frac{a_p}{g}$ از نموداری که بر حسب فرکانس و شتاب تنظیم شده است برای انواع کاربری ها (اتاق عمل، مسکونی، اداری، فروشگاه ها و سالن های رقص و...) حد قابل قبول لرزش را ارائه می دهد. همچنین ضریب میرایی کف هایی که اصلاً تیغه ندارند و یا تیغه آن ها به سقف متصل نمی شود و تیغه هایی که به سقف متصل می شود برای کاربری های مختلف و حد نهایی شتاب آن ها را مشخص می کند.

شتاب سقف براساس رابطه روبرو محاسبه

$$\frac{a_p}{g} = \frac{P_0 e^{-0.35 f_n}}{\beta W} \quad (2-3)$$

می گردد:

where

$P_0 e^{-0.35 f_n}$ = the harmonic walking force at or near f_n
(pounds)

P_0 = a constant force (pounds) representing the walking force

f_n = natural frequency of the floor structure

βW = the resistance of the floor to resonant walking force

β = modal damping ratio

W = effective weight of the floor (pounds), and

g = the acceleration due to gravity (386 in/s²)

Table 2-1 Recommended Values of Parameters in Equation 2-3 and a_0/g Limits

	Constant Force P_0 , lb	Damping Ratio ^a β	Acceleration Limit a_0/g
Offices, Churches, Residences	65	0.02–0.05 ^b	0.5%
Shopping Malls	65	0.02	1.5%
Footbridges:			
Indoor	92	0.01 ^c	1.5%
Outdoor	92	0.01	5.0%

a. These values apply to steel and concrete construction. Multiply these values by two for concrete-topped light-frame construction.

b. 0.02 for floors with few nonstructural components and furnishings, as can occur in "electronic" or "paperless" offices, open work areas, and churches; 0.03 for floors with nonstructural components and furnishings, but with only small demountable partitions; 0.05 for full-height partitions between floors.

c. 0.02 for drywall ceiling well-attached to the footbridge deck.

طبق این جدول میرایی برای کف های با اجزای کم غیر سازه ای مانند فضاهای اداری باز برابر ۰/۰۲ پیشنهاد می شود. همچنین برای کف های دارای اجزای غیر سازه ای و مبلمان که پارتیشن ها به سقف متصل نیستند ۰/۰۳ و برای کف های دارای پارتیشن های متصل به سقف ۰/۰۵ پیشنهاد شده است.

بنابراین برای سقف حاضر:

$$P_0 = 65 \text{ lb} = 29.5 \text{ kg} \approx 30 \text{ kg}$$

$$\beta = 0.03$$

بار های وارده به سقف با فرض سقف مسکونی و دال بیست سانتی:

$$\text{Dead load} = 0.2 \times 2500 = 500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Super Load} = 200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$\text{live load} = 200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

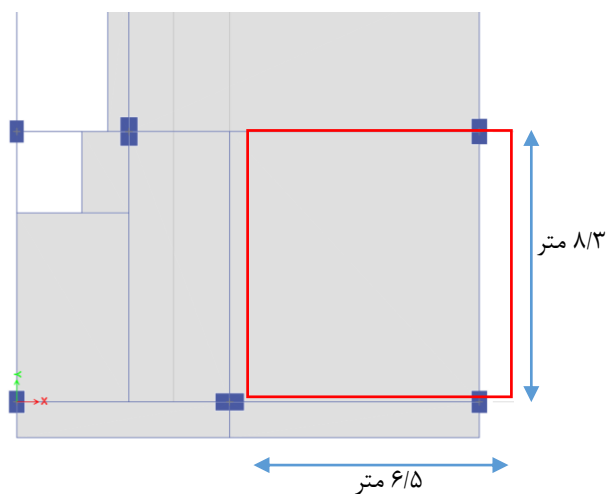
$$\text{partition load} = 100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$\text{permanent load} = 500 + 200 + 100 + 0.25 \times 200 = 850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Area} = 6.5 \times 8.3 \approx 54.5 \text{ m}^2$$

$$W = 54.5 \times 850 = 46325 \text{ kg}$$

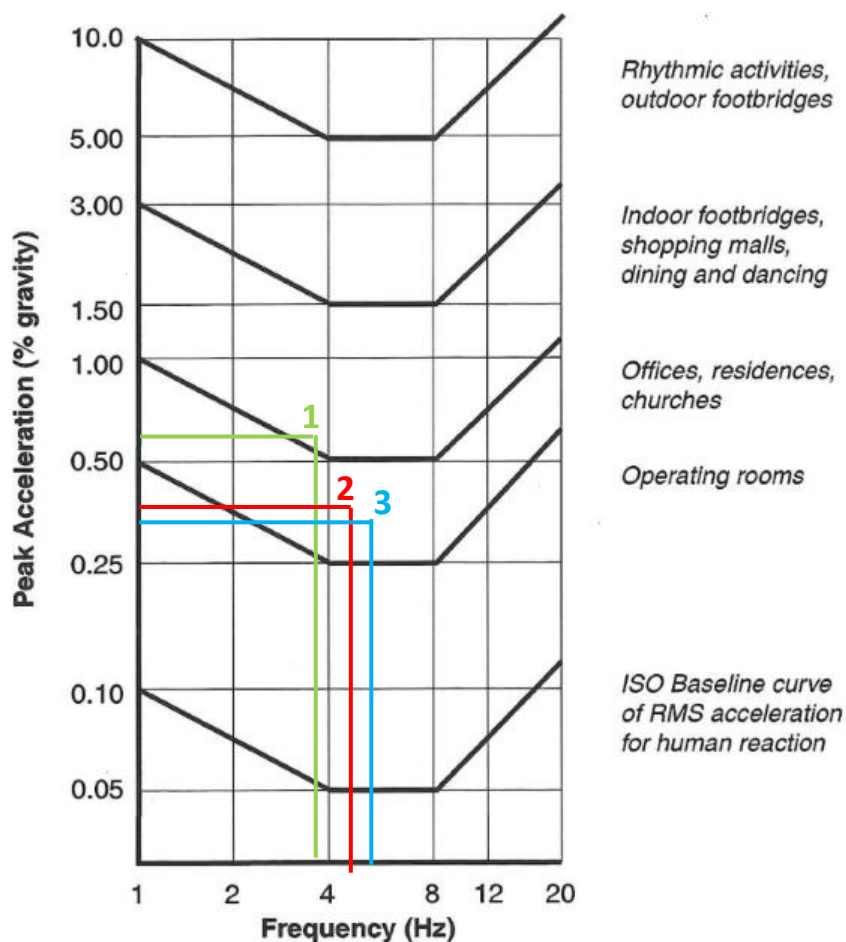
مساحت در نظر گرفته شده:



محاسبه شتاب:

$$\frac{a_p}{g} = \frac{P_0 e^{-0.35 f_n}}{\beta W} = \begin{cases} f_n = 3.79 \rightarrow \frac{a_p}{g} = \frac{30 \times e^{-0.35 \times 3.79}}{0.03 \times 46325} = 0.00573 \text{ روش اول} \\ f_n = 4.88 \rightarrow \frac{a_p}{g} = \frac{30 \times e^{-0.35 \times 4.88}}{0.03 \times 46325} = 0.00391 \text{ روش دوم} \\ f_n = 4.56 \rightarrow \frac{a_p}{g} = \frac{30 \times e^{-0.35 \times 4.56}}{0.03 \times 46325} = 0.00438 \text{ روش سوم} \end{cases}$$

پس از محاسبه شتاب با استفاده از نمودار زیر کنترل می شود که سقف مورد نظر در محدوده قابل قبول برای مسکونی هست یا خیر؟ (روش های یک تا سه)



با توجه به قرار گرفتن نقاط ۲ و ۳ زیر خط ناحیه مسکونی، این نقاط از نظر ATC قابل قبول هستند ولی نقطه اول قابل قبول نیست.

به نظر نویسنده روش سوم از روشهای اول و دوم و روش دوم از روش اول دقت بیشتری دارد.

برای صحت سنجی جدول فرکانس ارائه شده مبحث نهم با فرض سقف خالی از تیغه بندی با

فرض

$$\beta = 0.02$$

$$P_0 = 65lb = 29.5\ kg \approx 30\ kg$$

$$\beta = 0.02$$

بار های وارده به سقف با فرض سقف مسکونی و دال بیست سانتی:

$$Dead\ load = 0.2 \times 2500 = 500\ \frac{kg}{m^2}$$

$$Super\ Load = 200\ \frac{kg}{m^2}$$

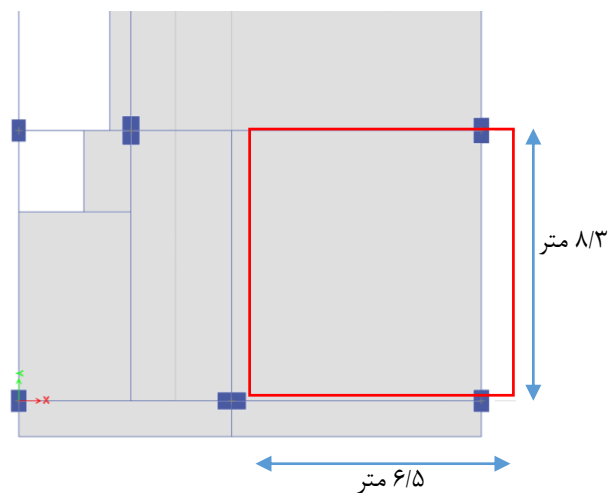
$$live\ load = 200\ \frac{kg}{m^2}$$

$$permanent\ load = 500 + 200 + 0.25 \times 200 = 750\ \frac{kg}{m^2}$$

$$Area = 6.5 \times 8.3 \approx 54.5m^2$$

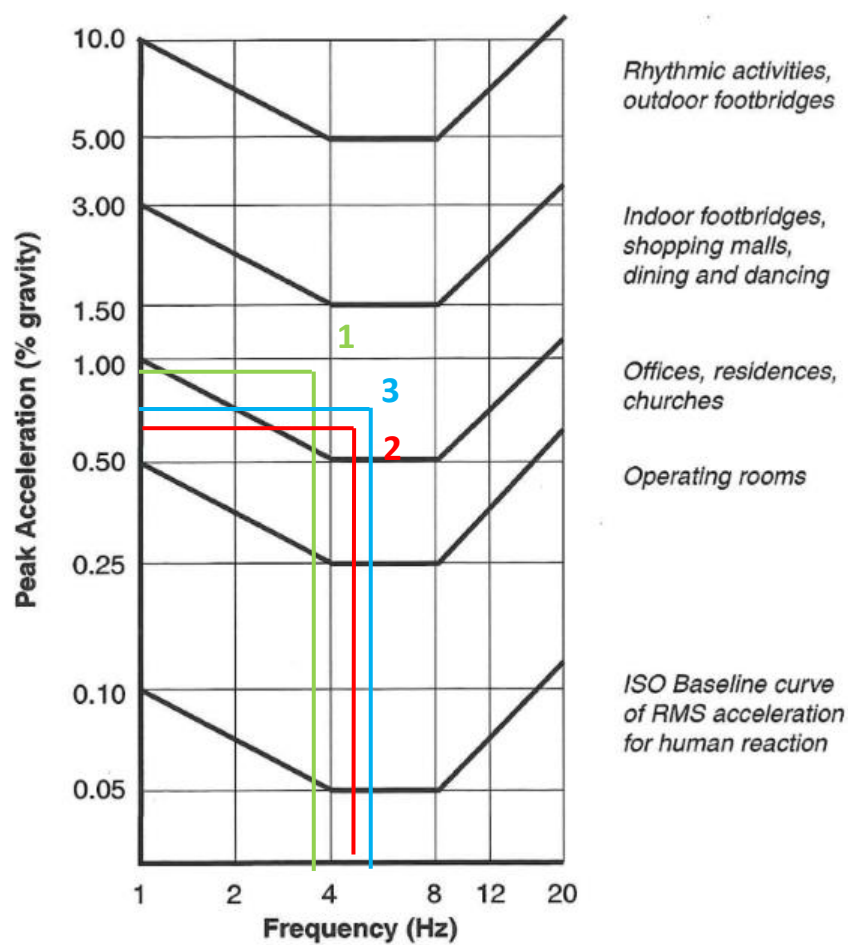
$$W = 54.5 \times 750 = 40875kg$$

مساحت در نظر گرفته شده:



محاسبه شتاب:

$$\frac{a_p}{g} = \frac{P_0 e^{-0.35 f_n}}{\beta W} = \begin{cases} f_n = 3.79 \rightarrow \frac{a_p}{g} = \frac{30 \times e^{-0.35 \times 3.79}}{0.02 \times 40875} = 0.00974 \text{ روش اول} \\ f_n = 4.88 \rightarrow \frac{a_p}{g} = \frac{30 \times e^{-0.35 \times 4.88}}{0.02 \times 40875} = 0.00665 \text{ روش دوم} \\ f_n = 4.56 \rightarrow \frac{a_p}{g} = \frac{30 \times e^{-0.35 \times 4.56}}{0.02 \times 40875} = 0.00743 \text{ روش سوم} \end{cases}$$



هیچ کدام از نقاط قابل قبول نیستند.

بنابراین روش ارایه شده در مبحث نهم اگرچه بسیار ساده ولی قابل اعتنا است. به شرطی که بدانیم این حداقل فرکانس سخت گیرانه کفها برای وقتی است که سطوح خالی از تیغه بندیهایی ممتد تا سقف باشد.