IRCOLD

Iranian National Committee on Large Dam

کمیته ملی سدهای بزرگ ایران

کاربرد فرکانس غالب در تحلیل غیر خطی سدهای خاکی به هنگام زلزله (سد باکان مالزی)

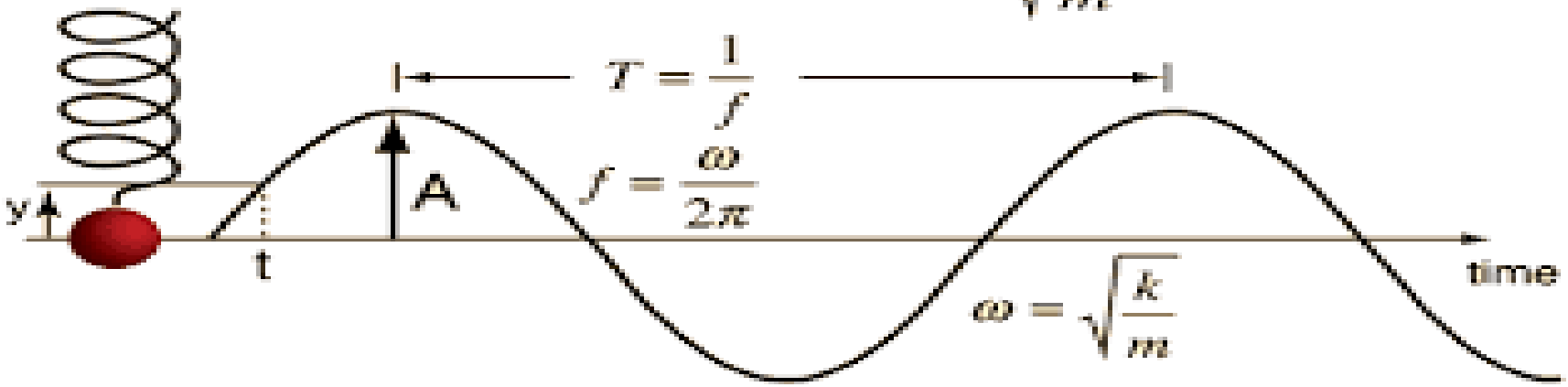
ارائه کننده: دکتر بهروز گردان

دیماه 99

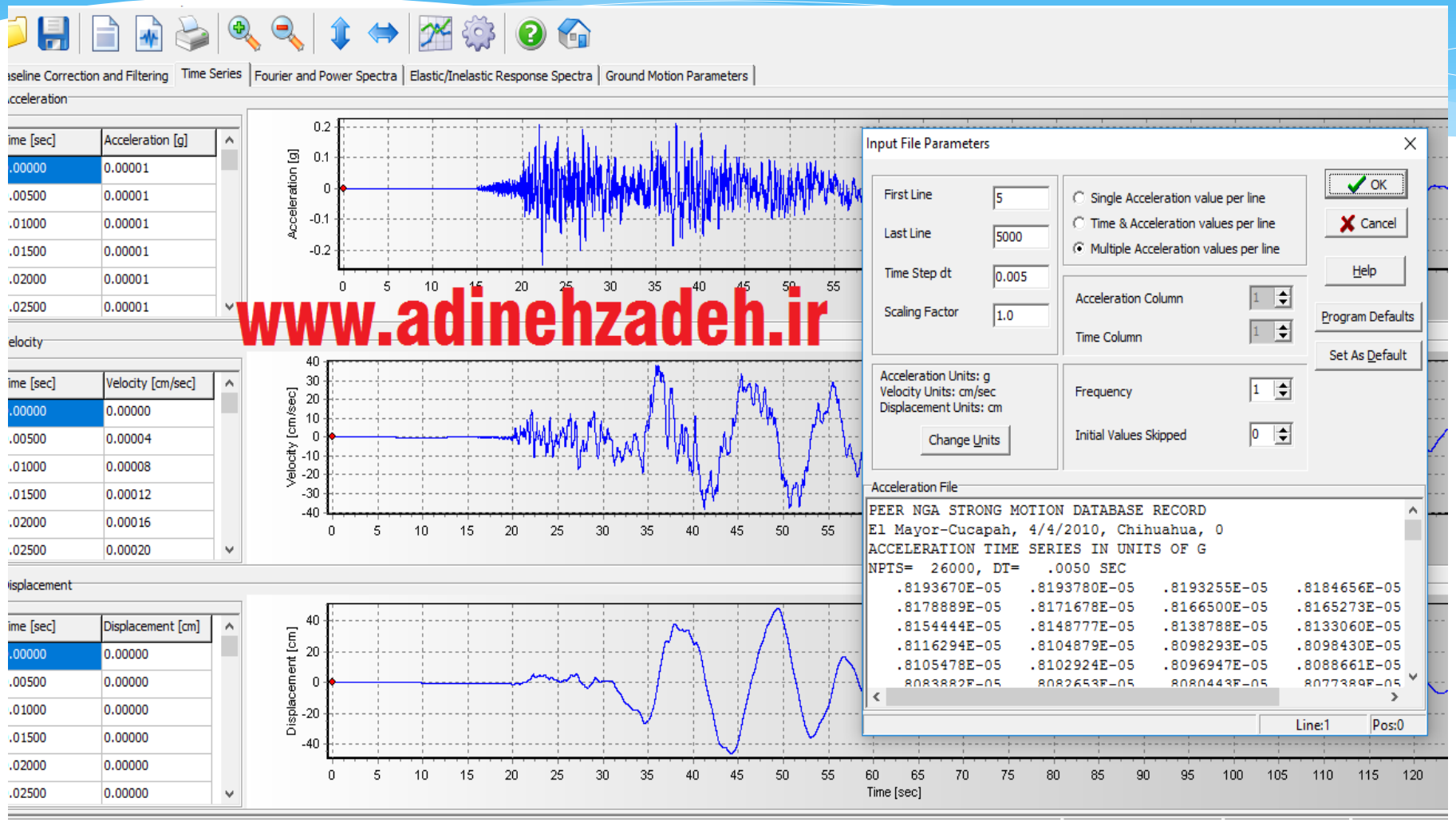
مدیریت شرکت مهندسین مشاور خاک پی دانش

فرکانس و دوره تناوب

$$y = A\sin\omega t = A\sin\sqrt{\frac{k}{m}}\,t$$



زلزله و شتاب



www.adinehzadeh.ir

نحوه وقوع زلزله

زلزله توسط حرکات ناگهانی در گسل ها و نواحی فعال پوسته زمین پدید می آید.
عامل حرکت گسل، جهش الاستیک ناشی از آزاد شدن ناگهانی انرژی کرنشی در پوسته زمین است.
گسل در توده سنگها باعث بروز لرزش هایی می شود که به صورت امواجی در پوسته زمین منتشر می گردند.
این لرزش ها حرکاتی را در سطح زمین ایجاد می کنند که سبب ایجاد تغییر شکل و اعمال تنش بر روی سازه های زیر زمینی و سطحی شده و منبع بیشتر خرابی های حاصل از زلزله هستند.
از اعمال این تنش ها بر روی سازه ها، تحت عنوان بارگذاری دینامیکی یا لرزه ای یاد می شود.
با توجه به ماهیت زلزله مقدار و جهت این بارگذاری در طول زمان زلزله تغییر می کند که روند این تغییرات در طول زمان را تاریخچه زمانی آن زلزله می نامند.
بارگذاری لرزه ای در قالب تاریخچه زمانی شتاب زلزله (شتاب نگاشت) یا هر یک از تاریخچه های زمانی سرعت، تغییر مکان یا تنش معادل آن، در مدل عددی اعمال می گردد.
دامنه امواج زلزله عموماً در سه راستای مختلف، شامل دو راستای افقی عمود بر هم و یک راستای قائم بر سطح توسط لرزه نگارها ثبت می شوند.
پارامترهای دامنه به طور کلی شامل تاریخچه شتاب، سرعت و یا تغییر مکان یک نقطه نسبت به زمان می باشد.
با در دست داشتن تاریخچه زمانی هر یک از این پارامترها می توان به تاریخچه زمانی پارامترهای دیگر دست یافت.
به عنوان مثال تاریخچه زمانی سرعت در یک نقطه، با یک بار انتگرال گیری و تاریخچه زمانی تغییر مکان، با دو بار انتگرال گیری از تاریخچه زمانی شتاب به دست می آید.

پارامترهای لرزه ای چیست ؟

کمیت هایی از تاریخچه زمانی یک زلزله که برای بیان و توصیف ویژگی های آن زلزله کاربرد دارد، پارامترهای لرزه ای نامیده می شوند که در ادامه به اختصار به معرفی آنها پرداخته خواهد شد.

از پارامترهای لرزه ای **Peak values مقادیر حداکثر**

یکی از خصوصیات تاریخچه زمانی پارامترهای لرزه ای (شتاب، سرعت یا تغییر مکان) حداکثر مقدار آن پارامتر در طول زلزله می باشد.

پرکاربردترین Peak Ground Horizontal Acceleration مخفف PGHA شتاب افقی حداکثر پارامتر طراحی دینامیکی در ژئوتکنیک می باشد.

به عنوان Peak Ground Horizontal Velocity مخفف PGHV در حالیکه حداکثر سرعت افقی یک پارامتر اساسی در خرابی سازه های مدفون نزدیک سطح زمین و حداکثر تغییر مکان افقی Peak Ground Horizontal Displacement مخفف PGHD

در طراحی دیوارهای حائل، تونل ها و خطوط لوله زیر زمینی کاربرد دارند.

این مقادیر حداکثر زلزله طرح، برای سازه های بزرگ مانند سدها بر اساس تحلیل خطر لرزه ای و در سازه های کوچکتر مانند ساختمانها معمولاً بر اساس پهنه بندی های خطر لرزه ای ارائه شده در استانداردهای مرتبط تعیین می گردند.

محتوای فرکانسی Frequency Contentاز پارامترهای لرزه ای

به طور کلی امواج زلزله متشکل از مجموعه ای از موج های ساده تر با فرکانس ها و دامنه های متفاوت می باشد.
محتوای فرکانسی یک زلزله در واقع نشان دهنده این است که دامنه این امواج، چگونه در فرکانس های مختلف گسترش یافته اند.
در واقع آنچه که سبب می شود تا پاسخ سازه در قبال دو زلزله با انرژی، حداکثر شتاب و دیگر پارامترهای یکسان، متفاوت باشد، اختلاف در محتوای فرکانسی آن دو زلزله است.
محتوای فرکانسی زلزله معمولاً در طیف پاسخ شتاب (طیف بازتاب) و یا طیف فوریه دامنه شتاب آن منعکس می گردد.

طیف پاسخ (طیف بازتاب) Response Spectrumاز پارامترهای لرزه ای

یکی از روش های طراحی سازه ها در برابر زلزله استفاده از طیف پاسخ می باشد.
طیف پاسخ که از از پارامترهای لرزه ای است، عبارت است از حداکثر پاسخ سیستم های یک درجه آزادی با فرکانس های طبیعی مختلف، به تاریخچه زلزله ورودی که به صورت تابعی از فرکانس ((Sa، حداکثر سرعت ((Svو یا حداکثر تغییر مکان ((Sdباشد که در این صورت به ترتیب طیف پاسخ شتاب ((PSAمخفف Pseudo Spectral Acceleration، طیف پاسخ سرعت ((PSVمخفف Pseudo Spectral Velocityو طیف پاسخ جابجایی ((PSDمخفف Pseudo Spectral Displacementنامیده خواهند شد.
برای هر موج زلزله این پاسخ ها تنها به فرکانس طبیعی سیستم یک درجه آزادی و میرایی آن بستگی دارد.

تحلیل طیفی سد باکان مالزی

Spectrum Method

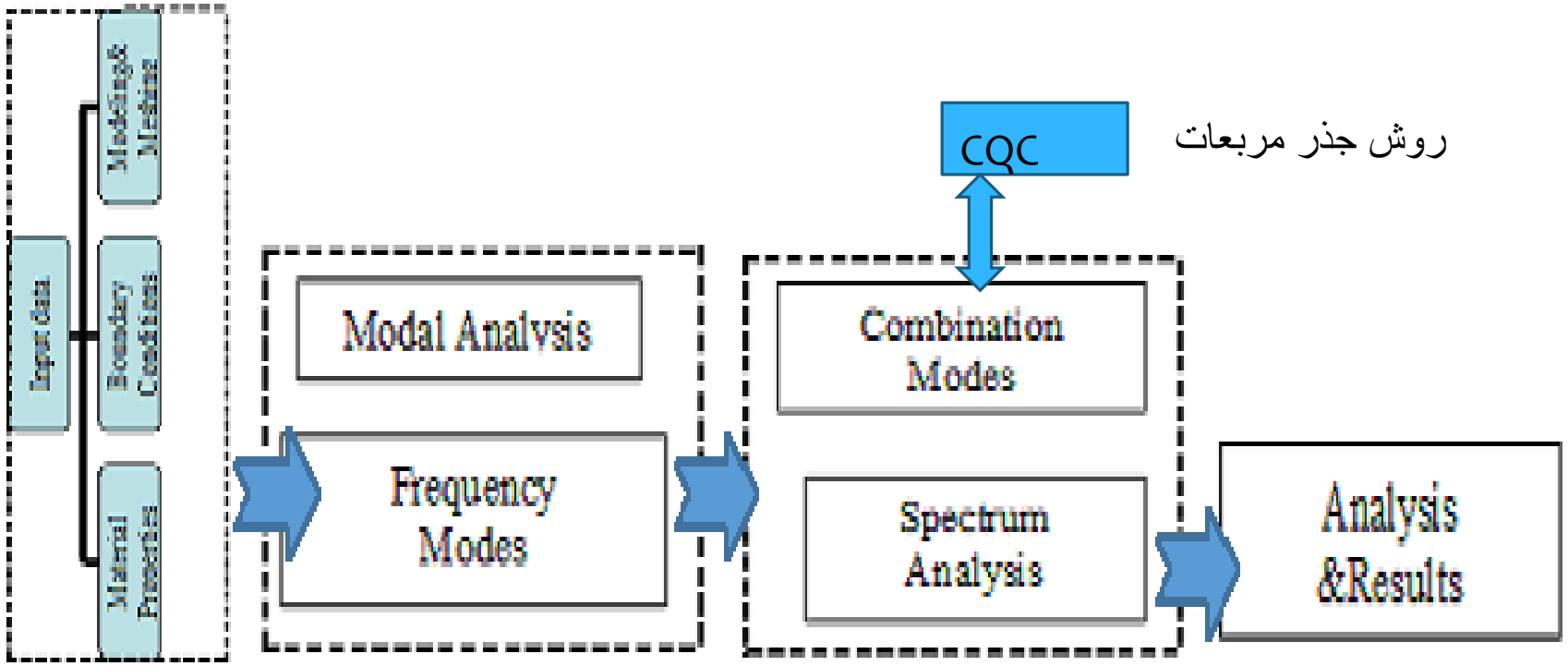


Figure 6. Chart Processing

(a) (b) (c)

Figure 1. a) Situation of Bakun dam (CRFD), b) The dam perspective before reservoir, c) Dams location of national seismological network, 8 dams and 14 stations in Malaysia

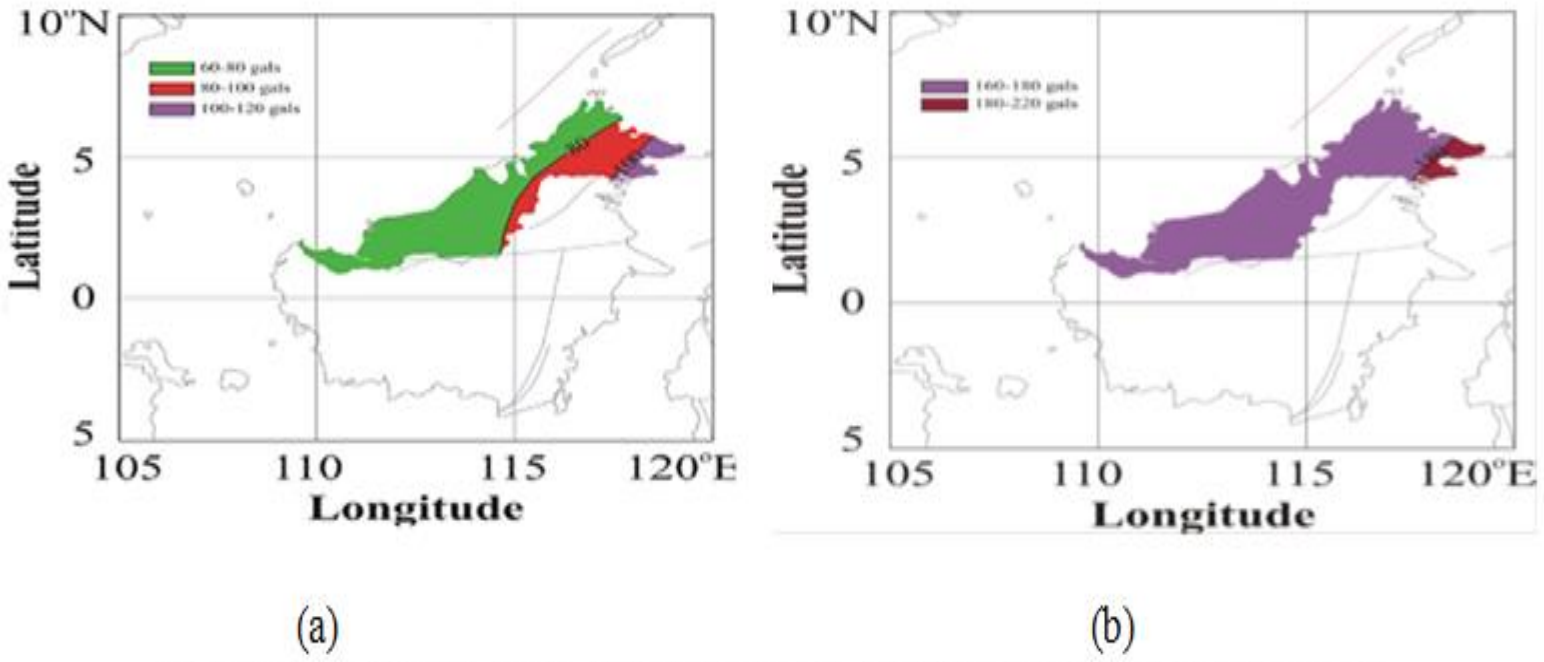


Figure 2: a) PGA map for 500 years, b) PGA map for 2500 years

In terms of the hazard level, the previous results indicated that the ground motions across the east Malaysia range between 60-120 (gal) for 10% in 50 years and 160-220 (gal) for 2% in 50 years.

According to equations 1-6, the acceleration spectrum curve is obtained using ASCE 2007. Figure 3 shows this curve.

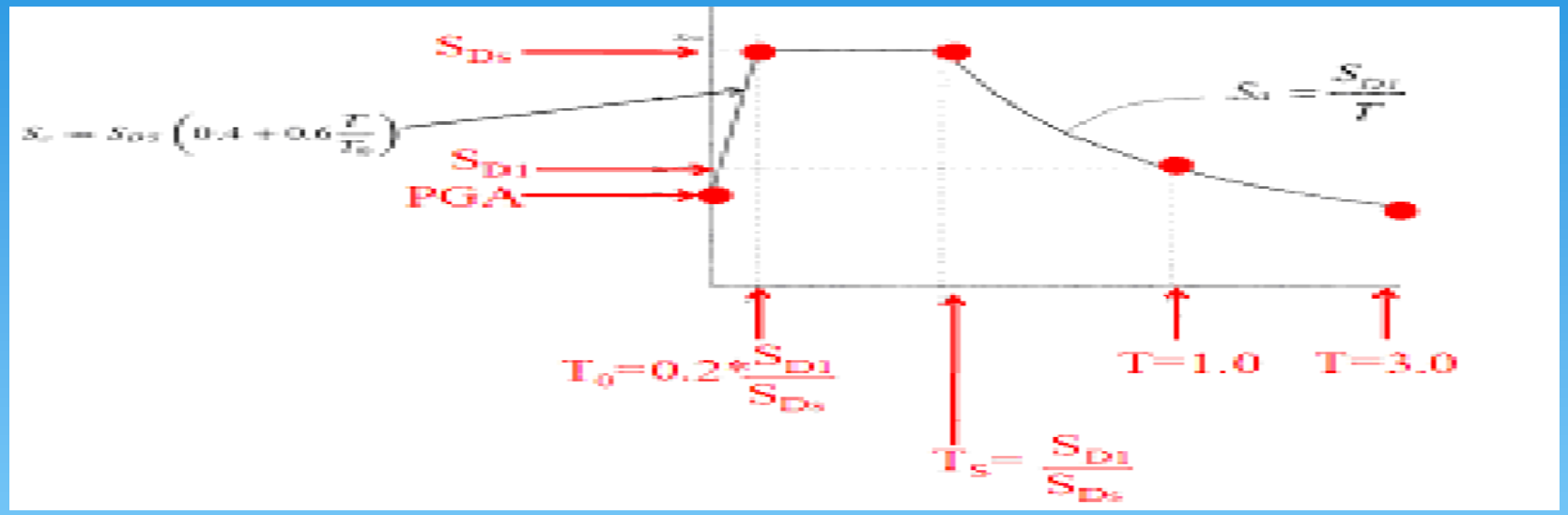
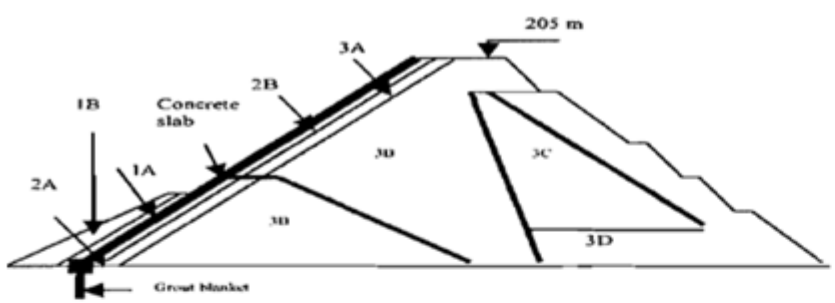


Figure 3: ASCE Acceleration spectrum curve. The period and acceleration spectrum was matched by horizontal and vertical axis



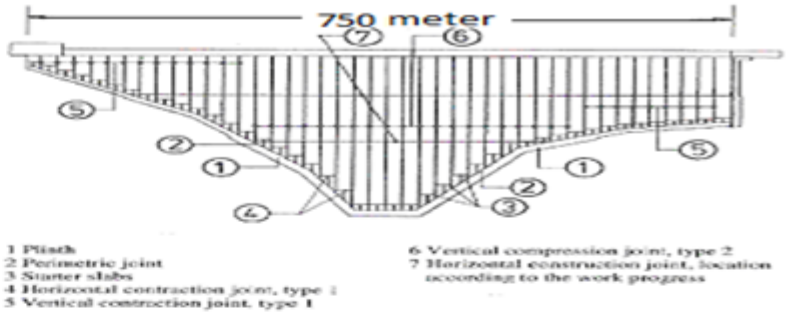
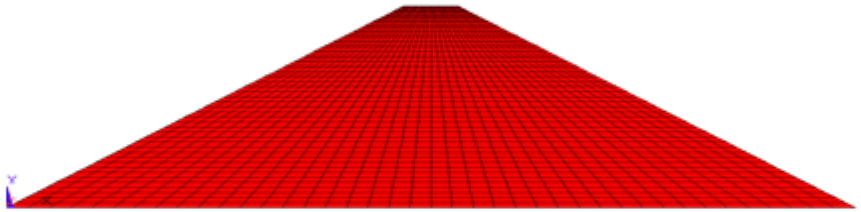


Figure 5: a) The dam section with different zones, b) Upstream face of dam,



c) Meshing

Table 6: Material properties

Zone	Elasticity modulus (Kg / m^2)	Poisson's Ratio	Relative Density (Kg / m^3)
Concrete slab Thickness (0.30m)	3.20E9	0.20	2400
2B-Cushion	3.20E7	0.30	2280
2A-Transition	1.60E9	0.30	2250
2B-Rockfill	1.00E9	0.30	2130

The spectrum acceleration curves for different soils are provided, as can be seen in Figure 4. In the case of measurement unit, the horizontal and vertical axes are period (Seconds) and acceleration (gravity)

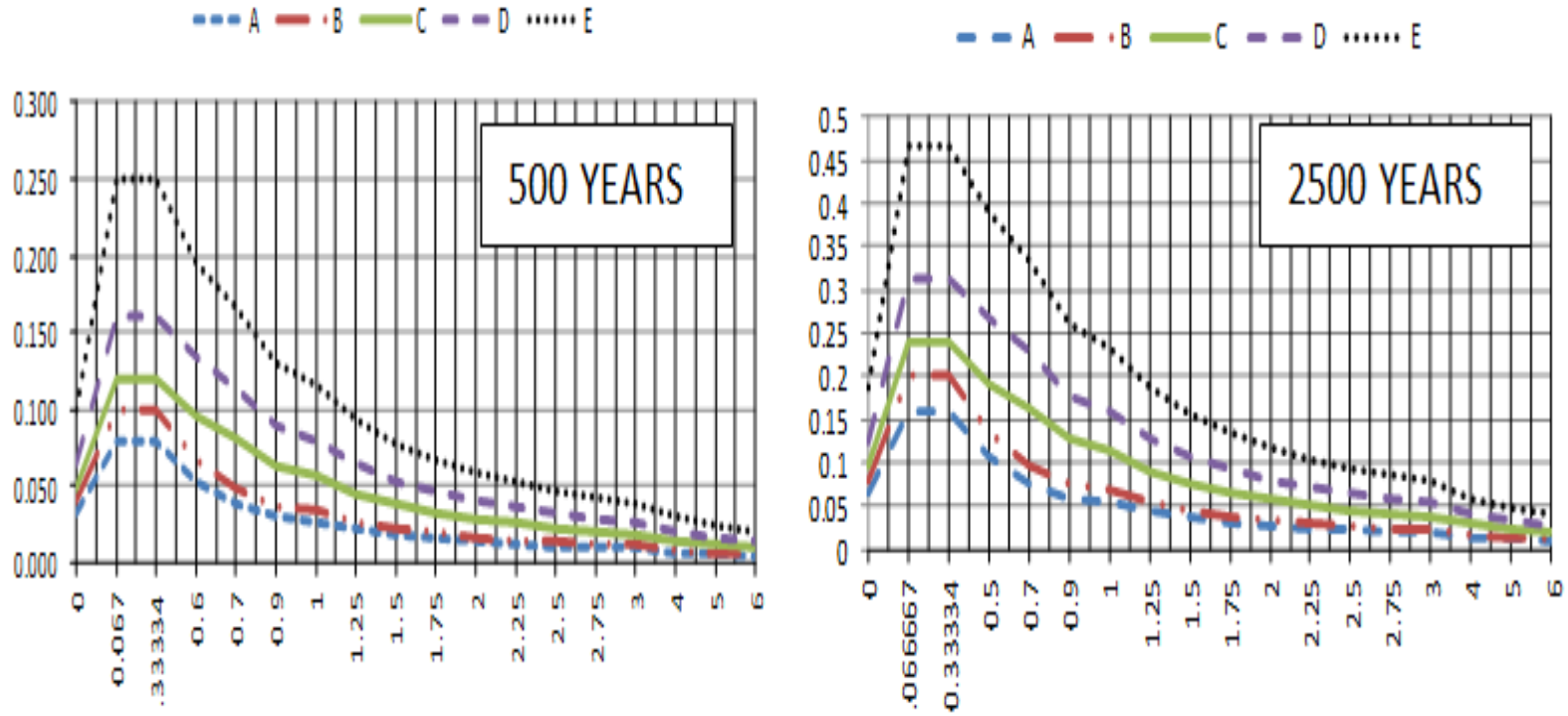


Figure 4. Acceleration spectrum, Vertical axis is acceleration, and horizontal axes is time

تحلیل مودال یا همان ارتعاش آزاد

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + ku(t) = 0$$

Table 7: Frequency in twenty mode shapes of dam

Mode	Frequency	Mode	Frequency	Mode	Frequency	Mode	Frequency
1	1.222	6	3.233	11	4.775	16	5.691
2	1.823	7	3.563	12	4.961	17	5.810
3	2.152	8	3.816	13	5.051	18	6.275
4	2.658	9	4.251	14	5.464	19	6.571
5	3.182	10	4.439	15	5.661	20	6.648

مورد کاربرد برای روش CQC

تحلیل مودال یا همان ارتعاش آزاد

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + ku(t) = 0$$

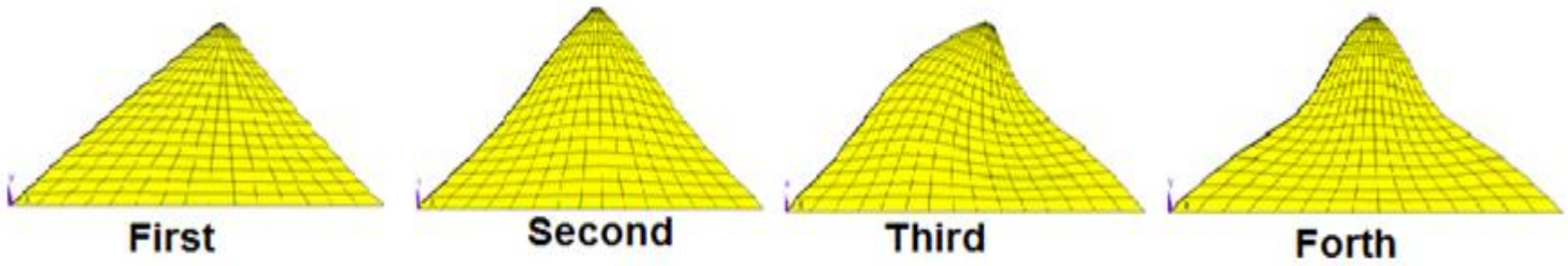
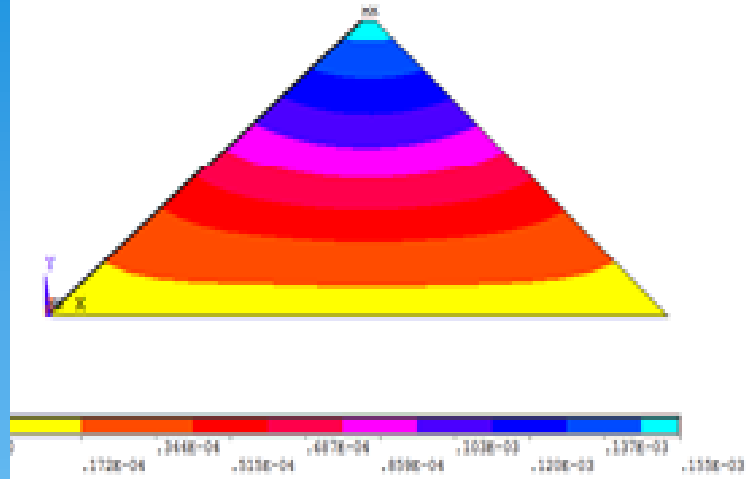
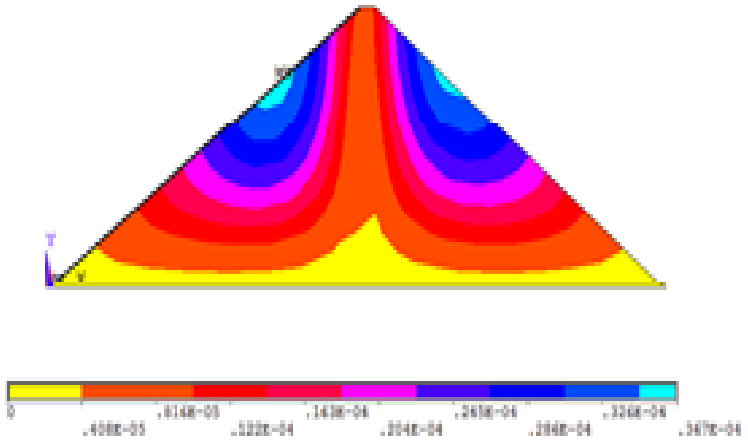


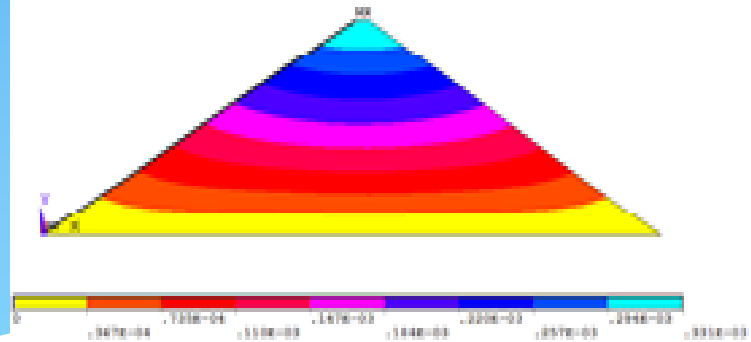
Figure 7: Different vibration modes



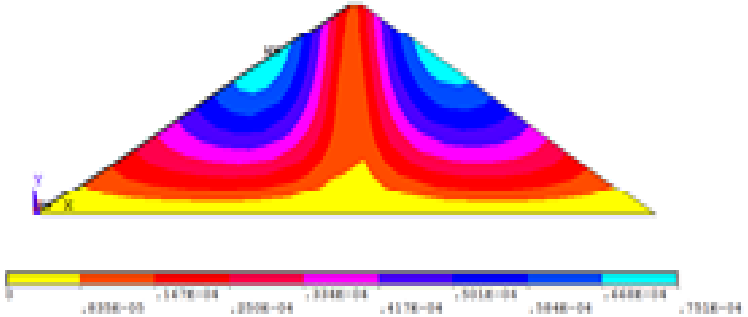
a) Horizontal displacement, A-500 years



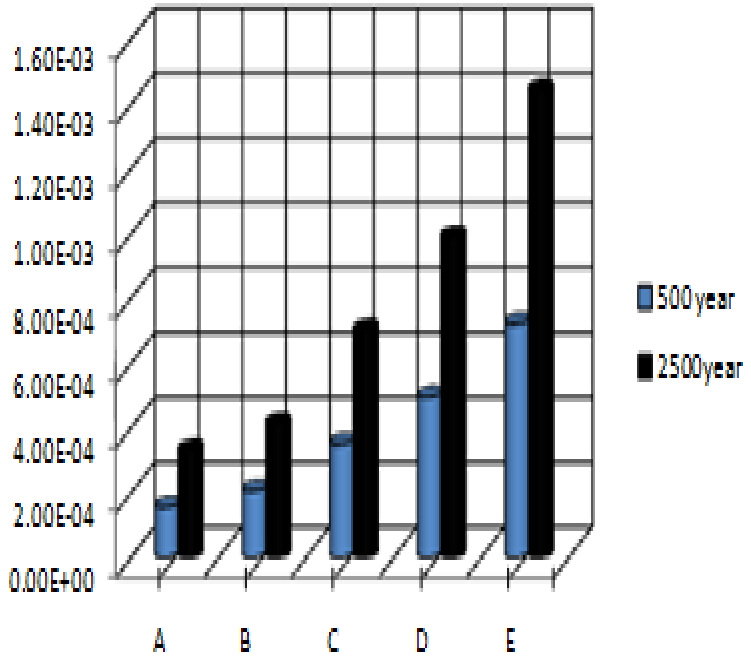
b) Vertical displacement, A-500 years



a) Horizontal displacement, A-2500years



b) Vertical displacement, A-2500 years



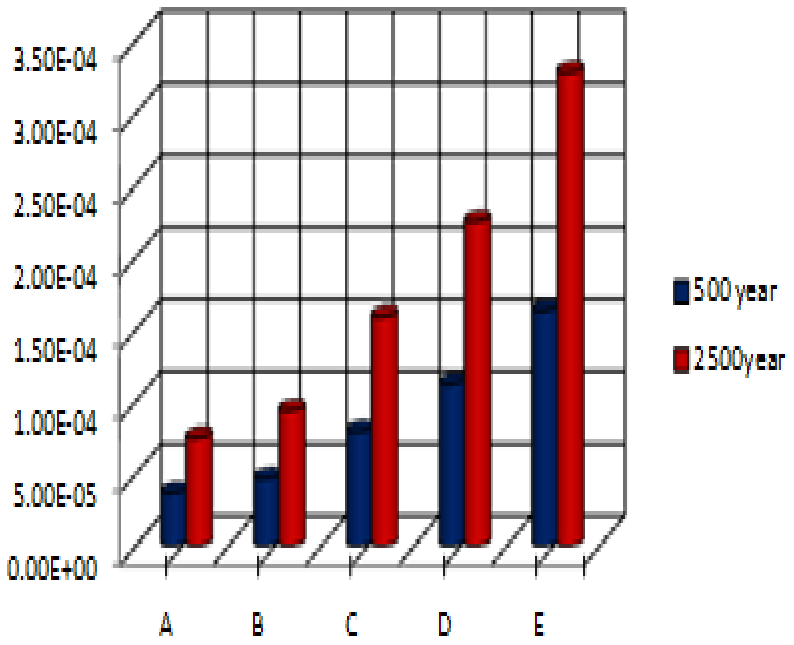
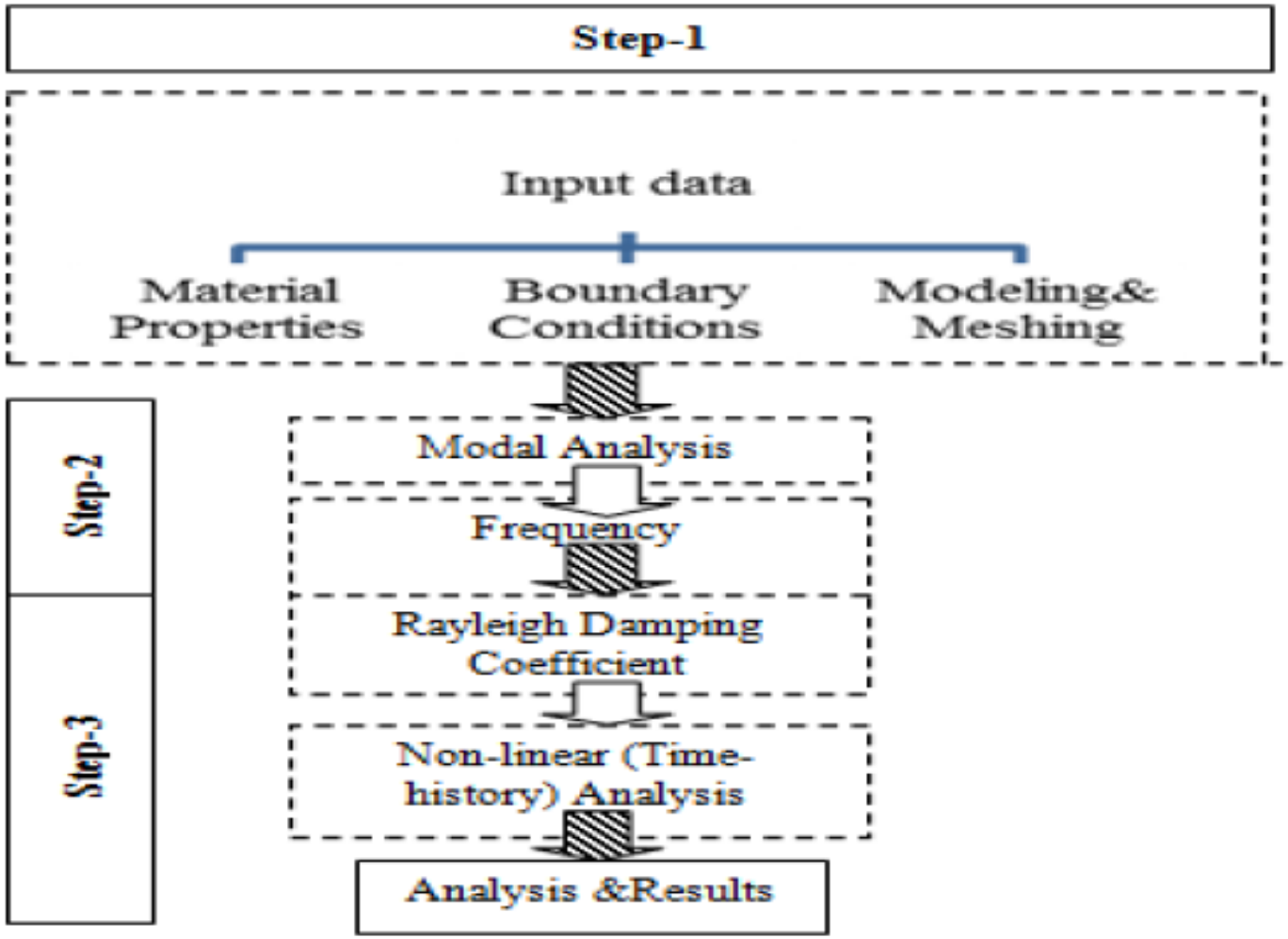


Figure 9. Maximum horizontal displacement Figure 10: Maximum vertical displacement

تحلیل تاریخچه زمانی سد باکان مالزی

Time History Method

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + ku(t) = F(t)$$



Figu.3: Flow Chart processing of nonlinear dynamic analysis using Time –history method

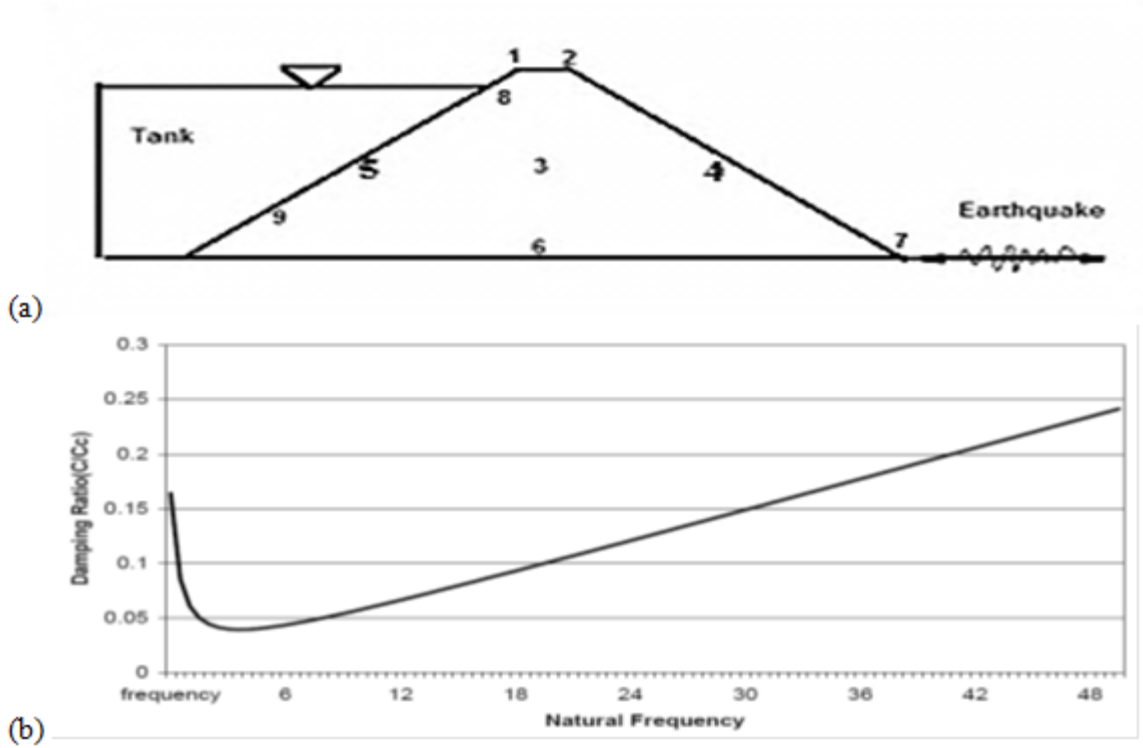


Figure 8: a) Main points of the model b) Variation of damping ratio with natural frequency of a system (Chowdhury et al, 2003)

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + ku(t) = 0$$

$$[C] = \alpha\,[M] + \beta\,[K] \tag{8}$$

[C] = damping matrix of the physical system;

[M] = mass matrix of the physical system;

[K] = stiffness matrix of the system; α and β are constants as called Rayleigh damping coefficients. A system with multiple degrees of freedom, the equation of motion under the transient load has given by the equation below.

$$[M] * \{\ddot{X}\} + [C] * \{\dot{X}\} + [K] * \{X\} = \{P_t\} \tag{9}$$

Because of the $\{P_t\}$ force vector which is a function of time. After solution of the above equation by matrix method as referenced [Chowdhury et al, 2003] so;

$$2\,\zeta_i * \omega_i = \alpha + \beta * \omega_i^2 \tag{10}$$

ζ = damping ratio;

ω =natural frequency of the system

After simplification reduces to: [Chowdhury et al, 2003]

$$\zeta_i = \frac{\alpha}{2\omega_i} + \frac{\beta\,\omega_i}{2} \tag{11}$$

And

$$\beta = \frac{2*\zeta_1\omega_1 - 2*\zeta_m\omega_m}{\omega_1^2 - \omega_m^2} \tag{12}$$

From last equation, it can be observed that the damping ratio is proportional to the natural frequencies of the system, as can be shown in Figure 8-a.

The Rayleigh damping coefficient is one of the basic factors during Time- history analysis. Therefore, the below process indicates which coefficients are computed according to Table 6 and Equations (10, 11 and 12).

ζ_1=0. 06 when ω_1= 1.22;

$\zeta_{m1} = \zeta_{10}$=0. 042 when ω_1 = 4.439;

$\zeta_{m2} = \zeta_{20}$=0. 049 when ω_{20} = 6.648;

Based on the above value for ten modes,

$\beta = 2*(0.042*4.439)-2*(0.06*1.22)/ (4.439^2-1.22^2) = 0.01243$

$\alpha = 2*0.042*4.439-0.01243*4.439^2=0.1279$

Moreover for twenty vibration modes,

$\beta = 2*(0.049*6.648)-2*(0.06*1.22)/ (6.648^2-1.22^2) = 0.01183$

$\alpha = 2*0.049*6.648-0.01183*6.648^2=0.12867$

Regard to average values;

β = 0.01213 and α =0. 12829

Both coefficients for nonlinear dynamic analysis of dam were used.

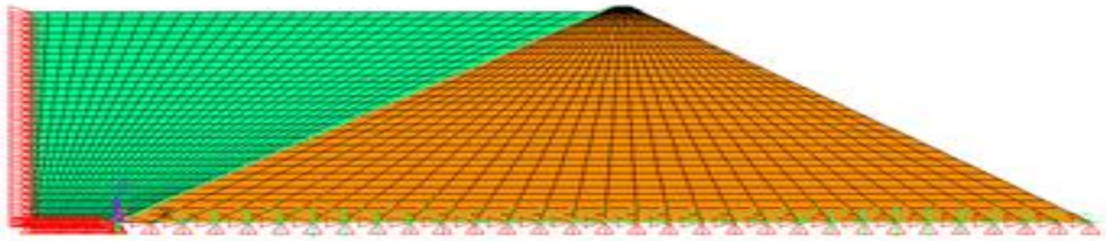


Figure 3: Regular mesh.

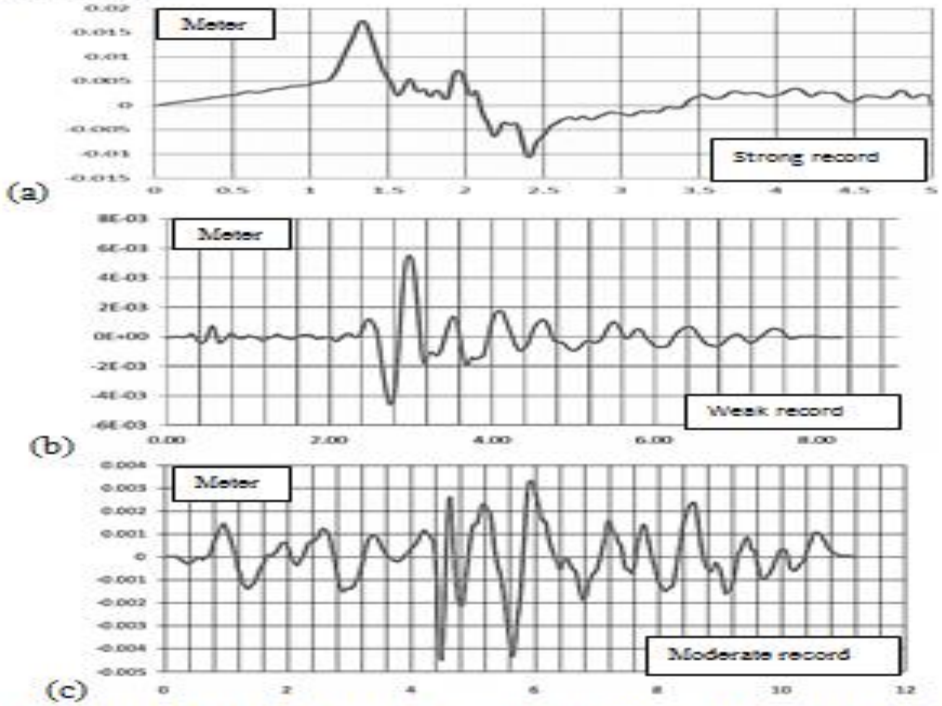
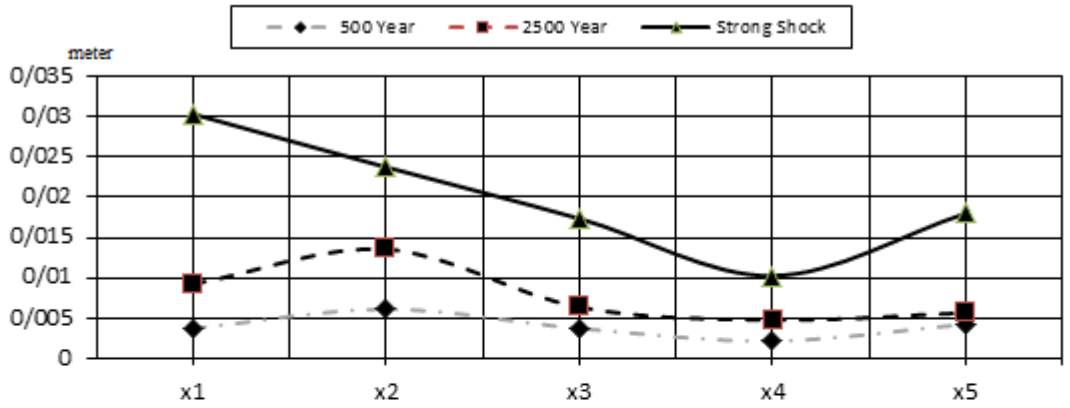
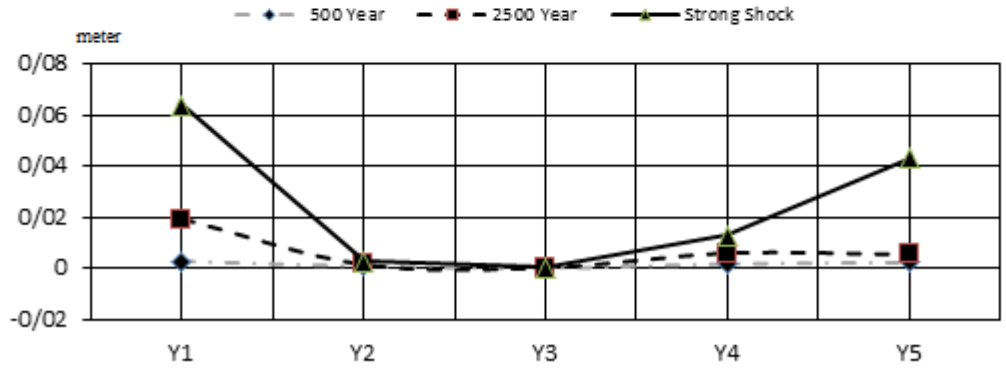


Figure 4: Earthquake record, displacement is vertical axis (meter) and time is horizontal axis (seconds).



(a) Horizontal displacement in points 1to5



(b) Vertical displacement in points 1-5

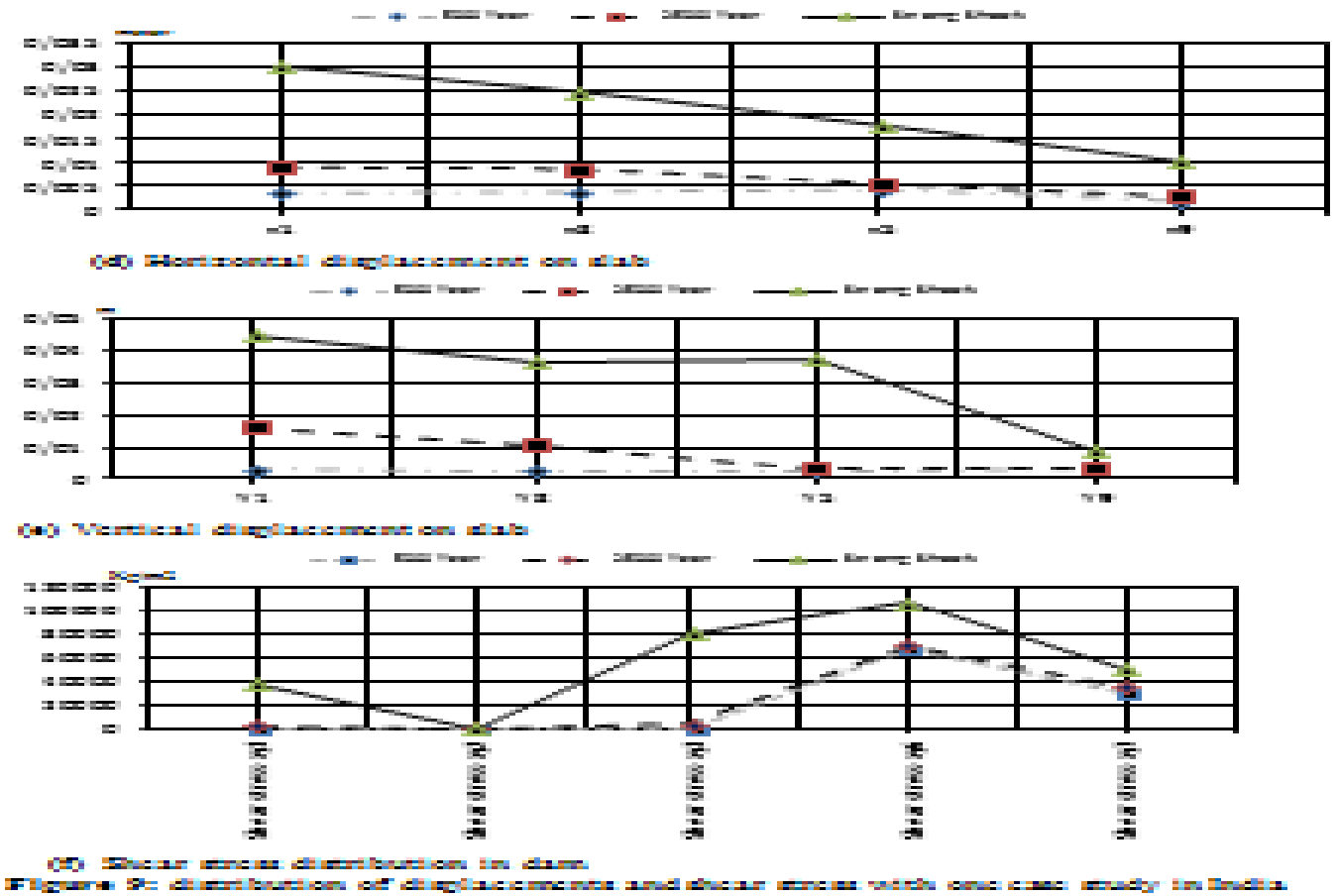
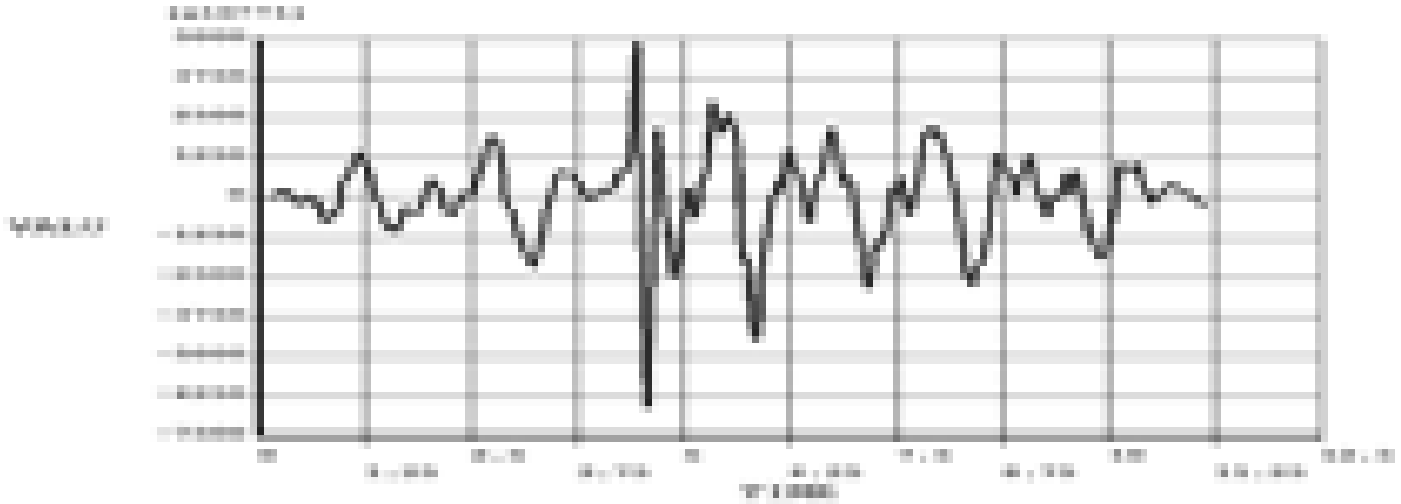
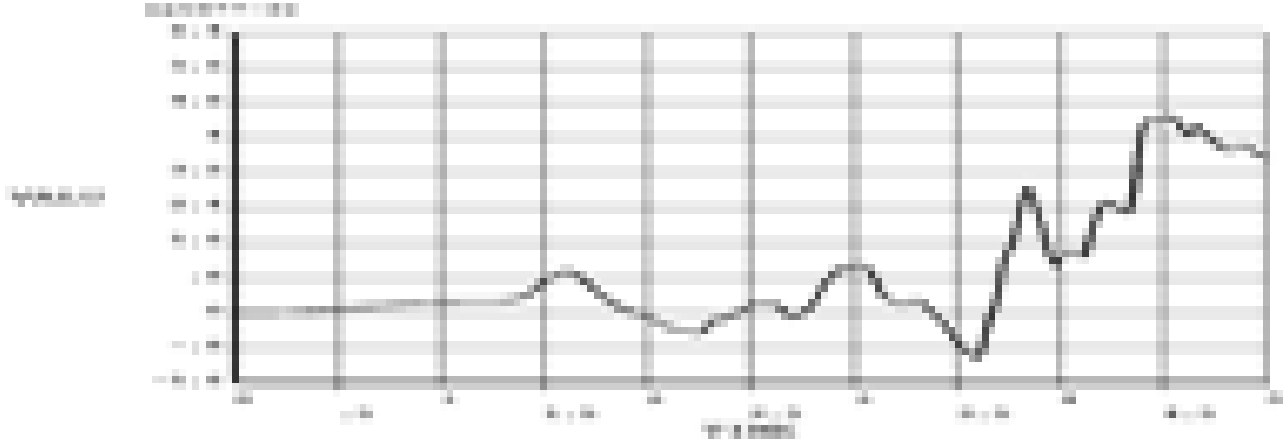


Figure 9: distribution of displacements and shear stress with one case study in India

کمیتهٔ ملی سدهای بزرگ ایران
IRCOLD
IRANIAN NATIONAL COMMITTEE ON LARGE DAMS



(a) Shear stress 3CV in point 6 for 2500 years, The horizon axis is time (second) and the vertical axis is the shear stress (kg/m^2)



(b) Vertical displacement in point 1 for strong shock earthquake, horizontal axis is time (second) and the vertical axis is displacement with meter unit

1. Conclusion

The time-history analysis of the Bakun dam by Finite-Element method using ANSYS 13 has performed. As a result, the hydrodynamic pressure created during an earthquake by interaction between reservoir and dam. Displacement and directed acceleration increased at the crest according to soil amplification. Relative displacement under strong and moderate earthquake was 6.2 cm and 2.00 cm at crest, respectively. Relative displacement was in one fourth of length equal to 0.9 cm and 3.65 cm for up and down of concrete slab, respectively. The good resistance under weak earthquake (2% probability of exceeding (PE) in 50 years) was obtained. Consequently, body cracks are possible during a moderate and strong earthquake at the crest and concrete slab. Consequently, monitoring data for this project is essential.

با تشکر از حسن توجه
اعضای محترم کمیته ملی
سدهای خاکی ایران

کمیتهٔ ملی سدهای بزرگ ایران
IRCOLD
IRANIAN NATIONAL COMMITTEE ON LARGE DAMS