

MSC NASTRAN İLE SÖNÜMLEME ETKİSİNİN MODELLENMESİ

Hazırlayan
Ömer Alan Yapısal Analiz Mühendisi

Tarih: 28/05/2024

Giriş

Sönümlenme, titreşen bir sistemin sahip olduğu titreşim enerjisi farklı enerji tiplerine dönüştüren veya farklı sistemlere dağıtan bir fenomendir. Bu dağılım, mekanik hareket, ısı, ses dalgaları, akışkan hareketleri vb. şekillerde meydana gelebilmektedir. Malzemenin moleküler sürtünmesi, serim ve mafsalların sürtünmesi, sistemin içindeki veya çevresindeki akışkan hareketleri doğal sönümleyici görevi görmektedir. Sönümlenmeyle birlikte cevabın genliğinde azalma ve sisteme girilen ve sistemden çıkan enerji arasında farklar görülmektedir. Sönümlenme etkisi küçük dahi olsa tüm dinamik yapılarda karşımıza çıkmaktadır. Bu yazımızda MSC Nastran'da bulunan sönümlenme etkilerini ve bu etkileri hangi araçlarla modele ekleyeceğimizi işleyeceğiz.

Dinamik Analizlerde Sönümlenme

Analiz modeli üzerinde ne seviyede sönümlenme kullanılması gerektiğinin genel bir cevabı bulunmamaktadır. Sönümlenme girdileri oluşturulurken test sonuçları, endüstri standartları ve önceki analizlerden edilen tecrübe mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Sönümlenme bir sisteme ne kadar az eklenirse, o kadar güvenli alanda kalınır diyebilmekteyiz. Bununla beraber bazı tipik sönümlenme katsayıları hakkında bilgi sahibiyiz. Örneğin NC işlenmiş parçalar için %2-%5, fabrika üretimi metal parçalar için %4-%10 ve kompozit yapılar için %6-%10 kritik sönümlenme değerlerini kullanabiliriz.

Şekil 1: 2D Rotor Modeli

MSC Nastran'da çeşitli formlarda sönümlenme girdileri oluşturulabilir. Aşağıdaki listede bu sönümlenme tipleri sıralanmıştır.

- Viscous Damping: Hız ile doğru orantılı olarak oluşan sönümlenme kuvvetidir. Örnek olarak tipik amortisör sistemini düşünebiliriz.
- Structural Damping: Yer değiştirme ile doğru orantılı olarak oluşan sönümlenme kuvvetidir. Örnek olarak tipik metal davranışını düşünebiliriz.
- Rayleigh Damping: Yapının kütesine ve katılığına bağlı olarak oluşan sönümlenme kuvvetidir.

Bunlara ek olarak sönümlenme, modal serbestlik derecelerine ve fiziksel serbestlik derecelerine de uygulanabilmektedir.

- Modal Damping: Her bir frekans değeri için özel bir sönümlenme girdisi oluşturulabilmektedir.
- Physical Damping: Sönümleyici elemanların node'lara eklenmesiyle oluşturulabilmektedir.

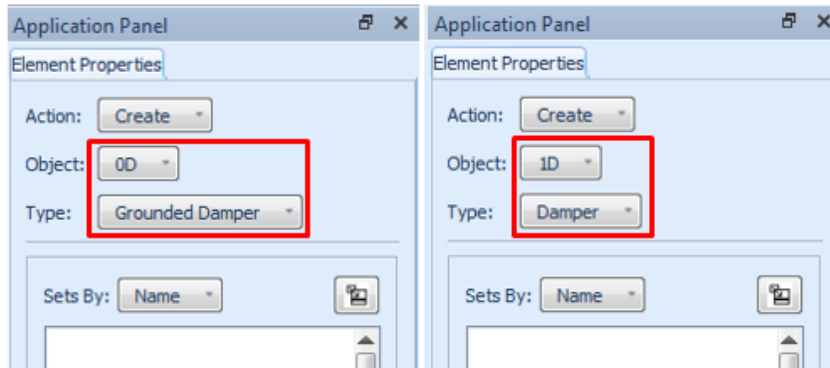
Bir dinamik sistemdeki sönümlenme, bu sönümlenme tiplerinin herhangi bir kombinasyonu da olabilir.

Viscous Damping Girdisi

MSC Nastran'da viscous damping, damper elemanlar aracılığıyla yapılmaktadır. Bu kısımda damper elemanlardan bazıları tanıtılmıştır.

CDAMP1 ELEMENT

CDAMP1 eleman hem bir boyutlu skaler sönümleyici hem de sıfır boyutlu grounded sönümleyici olarak kullanılabilir. Bir boyutlu kullanıldığında iki node arasına bağlanarak oluşturulurken sıfır boyutlu kullanıldığında tek bir node üzerinde oluşturulabilmektedir.



Şekil 1: 0D ve 1D Damper Eleman Arayüzü

CDAMP1 elemanlar oluşturulduktan sonra, elemanların sahip olduğu sönümlenme özellikleri “Properties” sekmesi içerisinde düzenlenebilir. Elemanların property bilgileri BDF dosyası içerisinde PDAMP kartıyla belirtilmektedir. PDAMP kartının kullanımına Quick Reference Guide dokümanı içerisinde ayrıntılı bir şekilde yer verilmektedir. Aşağıdaki görselde dokümanın ilgili sayfası mevcuttur.

PDAMP Scalar Damper Property

Specifies the damping value of a scalar damper element using defined CDAMP1 or CDAMP3 entries.

Format:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PDAMP	PID1	B1	PID2	B2	PID3	B3	PID4	B4	

Example:

PDAMP	14	2.3	2	6.1					
-------	----	-----	---	-----	--	--	--	--	--

Describer	Meaning
PIDi	Property identification number. (Integer > 0)
Bi	Force per unit velocity. (Real)

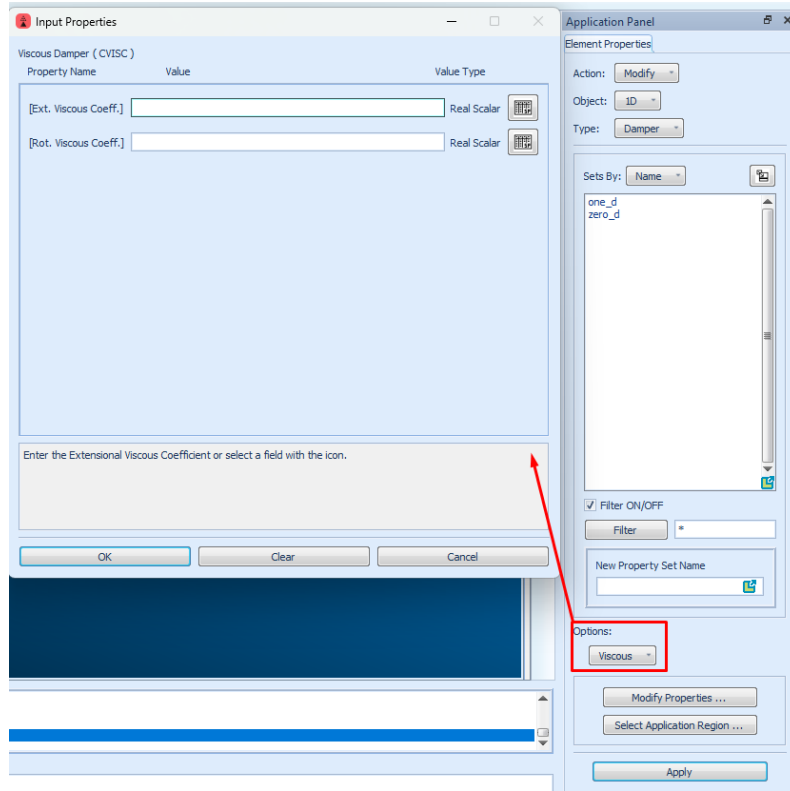
Remarks:

1. Damping values are defined directly on the CDAMP2 and CDAMP4 entries, and therefore do not require a PDAMP entry.
2. A structural viscous damper, CVISC, may also be used for geometric grid points.
3. Up to four damping properties may be defined on a single entry.
4. For a discussion of scalar elements, see [Scalar Elements \(CELASI, CMASSI, CDAMP1\)](#) in the *MSC Nastran Reference Guide*.
5. PDAMP is a primary property entry. Primary property entries are grouping entities for many applications in MSC Nastran. Therefore it is highly recommended that the PDAMP property entries have unique identification numbers with respect to all other property entries else unexpected grouping results may occur. There must be uniqueness between PDAMP entries.

Şekil 2: PDAMP Kartı Açıklaması

CVISC ELEMENT

Bir boyutlu skaler sönümleyici elemana benzer olarak, bir boyutlu viscous sönümleyici oluşturmak için property penceresindeki “options” kısmını “Viscous” olarak değiştirmek gereklidir. Bu şekilde oluşturulan sönümleyicinin uzamsal ve rotasyonel sönümlenme değerleri ayrı ayrı girilebilmektedir.



Şekil 3: CVISC Eleman Arayüzü

CVISC elemanların sahip olduğu sönümlenme değerleri, BDF dosyası içerisinde PVISC kartıyla temsil edilir. Bu kartın kullanımı için Quick Reference Guide dokümanındaki ilgili sayfa, aşağıdaki görselde mevcuttur.

PVISC Viscous Damping Element Property

Defines properties of a one-dimensional viscous damping element (CVISC entry).

Format:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PVISC	PID1	CE1	CR1		PID2	CE2	CR2		

Example:

PVISC	3	6.2	3.94						
-------	---	-----	------	--	--	--	--	--	--

Describer	Meaning
PID _i	Property identification number. (Integer > 0)
CE1, CE2	Viscous damping values for extension in units of force per unit velocity. (Real)
CR1, CR2	Viscous damping values for rotation in units of moment per unit velocity. (Real)

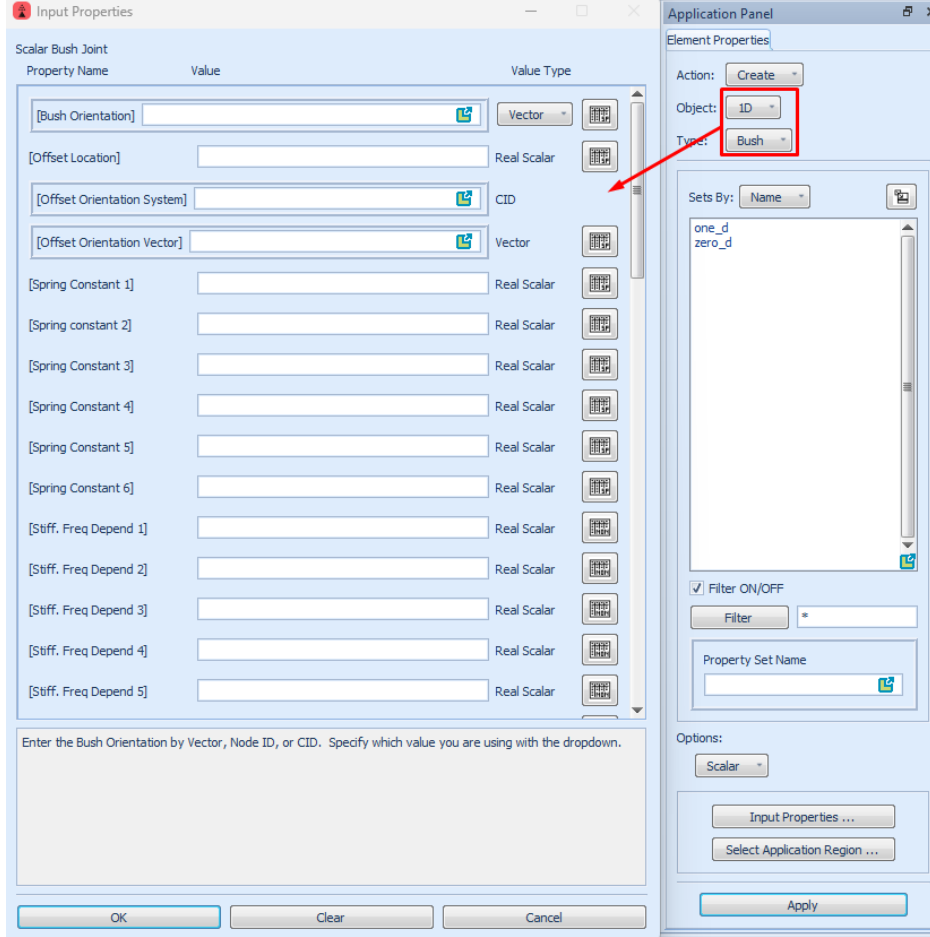
Remarks:

1. Viscous properties are material independent; in particular, they are temperature independent.
2. One or two viscous element properties may be defined on a single entry.
3. PVISC is a primary property entry. Primary property entries are grouping entities for many applications in MSC Nastran. Therefore it is highly recommended that the PVISC property entries have unique identification numbers with respect to all other property entries else unexpected grouping results may occur. There must be uniqueness between PVISC entries.

Şekil 4: PVISC Kartı Açıklaması

CVBUSH ELEMENT

CBUSH eleman, genel yay-sönümleyici sistemi için tanımlanmış bir boyutlu bir eleman tipidir. Elemanın tanımı itibariyle kullanım alanı çok geniştir. CBUSH eleman kullanılırken, yapının altı yöndeki katılık ve sönümlenme değerlerini ayrı ayrı girilebilmektedir. Bu nedenle testlerden elde edilen sönümlenme katsayıları çok daha detaylı bir şekilde modele eklenebilir. Aşağıdaki görselde CBUSH elemanın katılık ve sönümlenme değerlerini girildiği ekran gösterilmektedir.



Şekil 5: CBUSH Eleman Arayüzü

CBUSH eleman üç boyutta yer değiştirme ve dönme hareketlerine karşı katılık ve sönümlenme etkisini temsil edebilmektedir. Eğer bu etkiler sadece bir boyutta modellenmek isteniyorsa CBUSH1D kartının kullanımı da tercih edilebilir. CBUSH elemanın property özellikleri BDF dosyası içerisinde PBUSH kartı üzerinden tanımlanmaktadır. PBUSH kartının detayları için Quick Reference Guide dokümanındaki ilgili kısım aşağıdaki görselde mevcuttur.

PBUSH Generalized Spring-and-Damper Property

Defines the nominal property values for a generalized spring-and-damper structural element.

Format:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PBUSH	PID	"K"	K1	K2	K3	K4	K5	K6	
		"B"	B1	B2	B3	B4	B5	B6	
		"GE"	GE1	GE2	GE3	GE4	GE5	GE6	
		"RCV"	SA	ST	EA	ET			
		"M"	M						
		"T"	ALPHA	TREF	COINL				

Example 1:

Stiffness and structural damping are specified.

PBUSH	35	K	4.35	2.4				3.1	
		GE	.06						
		RCV	7.3	3.3					

Example 2:

Damping force per unit velocity are specified.

PBUSH	35	B	2.3						
-------	----	---	-----	--	--	--	--	--	--

Describer	Meaning
PID	Property identification number. (Integer > 0)
"K"	Flag indicating that the next 1 to 6 fields are stiffness values in the element coordinate system. (Character)
Ki	Nominal stiffness values in directions 1 through 6. See Remarks 2. and 3. (Real; Default = 0.0)
"B"	Flag indicating that the next 1 to 6 fields are force-per-velocity damping. (Character)
Bi	Nominal damping coefficients in direction 1 through 6 in units of force per unit velocity. See Remarks 2., 3., and 9. (Real; Default = 0.0)
"GE"	Flag indicating that the next fields, 1 through 6 are structural damping constants. See Remark 7. (Character)
GEi	Nominal structural damping constant in directions 1 through 6. See Remarks 2. and 3. and 9. (Real; GE1 default = 0.0, GE2-6, defaults described in Remark 9.)

Şekil 6: PBUSH Kartı Açıklaması

Structural Damping

Yapısal sönümlenme, model üzerinde üniform olarak dağılan malzeme veya eleman tabanlı bir sönümlenme türüdür. Tahriğin türüne göre zamana veya frekansa bağlı olarak değişkenlik gösterebilir.

Nastran'da yapısal sönümlenme girdileri birden fazla yolla oluşturulabilir. Örneğin malzeme bilgilerinin tanımlandığı MATi kartları içerisine yapısal sönümlenme değerleri eklenebilir. Aşağıdaki görselde örnek bir malzeme kartı ve bu kart üzerindeki yapısal sönümlenme değeri gösterilmiştir.

CQUAD4 Quadrilateral Plate Element Connection									
Defines an isoparametric membrane-bending or plane strain quadrilateral plate element.									
Format:									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CQUAD4	EID	PID	G1	G2	G3	G4	THETA MCID	ZOFFS	
		TEJAG	T1	T2	T3	T4			

PSHELL Shell Element Property									
Defines the membrane, bending, transverse shear, and coupling properties of thin shell elements.									
Format:									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
PSHELL	PID	MID1	T	MID2	I2/T-3	MID3	IS/T	NSM	
	Z1	Z2	MID4						

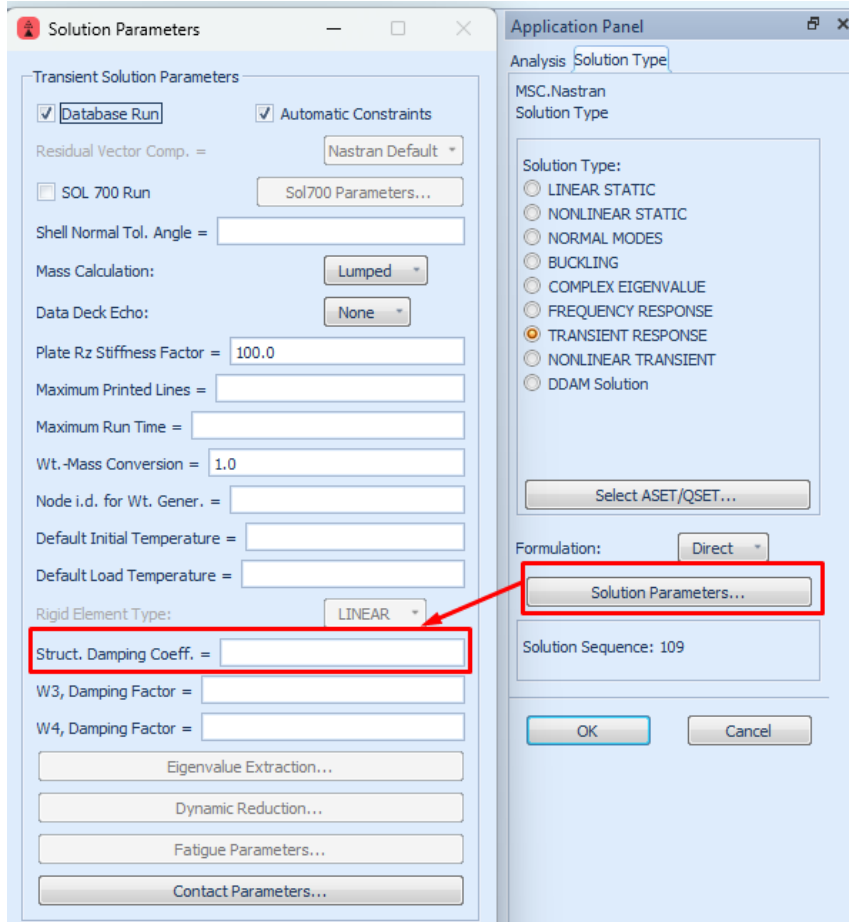
MAT1 Isotropic Material Property Definition									
Defines the material properties for linear isotropic materials.									
Format:									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MAT1	MID	E	G	NU	RHO	A	TREF	GE	
	ST	SC	SS	MCSID					

Example:									
MAT1	17	3-7		0.33	4.28	6.5-6	5.37-2	0.23	
	20-4	15-4	12-4	1003					

Field	Contents
MID	Material identification number. (Integer > 0)
E	Young's modulus. (Real ≥ 0.0 or blank)
G	Shear modulus. (Real ≥ 0.0 or blank)
NU	Poisson's ratio. (-1.0 < Real ≤ 0.5 or blank)
RHO	Mass density. See Remark 5. (Real)
A	Thermal expansion coefficient. (Real)
TREF	Reference temperature for the calculation of thermal loads, or a temperature-dependent thermal expansion coefficient. See Remarks 9 and 10. (Real; Default = 0.0 if A is specified.)
GE	Structural element damping coefficient. See Remarks 8, 9, and 4. (Real)

Şekil 7: Malzeme Kartında Yapısal Sönümlenme Tanımlama

Bir başka bir yapısal sönümlenme yöntemi olarak, yapının tamamına atanabilecek bir yapısal sönümlenme girdisi değerlendirilebilir. Bunun için tek yapılması gereken BDF dosyası içerisindeki Bulk Data kısmına PARAM,G,X satırını oluşturmak yeterli olacaktır. Bu satırdaki X, sönümlenme katsayısını ifade etmektedir. Aynı ifadeyi Patran arayüzünde oluşturmak için aşağıdaki görselde bulunan akış takip edilebilir.



Şekil 8: Yapısal Sönümlenme Ataması

Şekil 8'i incelediğimizde, aynı pencere içerisinde W3 ve W4 sönümleme faktörlerini görmekteyiz. W3 faktörü genel yapısal sönümleme değerini eşdeğer viscous sönümlemeye dönüştürmektedir. W4 faktörü ise elemanların yapısal sönümleme değerini eşdeğer viscous sönümlemeye dönüştürmektedir. W3 ve W4 faktörlerinin katsayısı radyan/birim zamandır.

Modal Damping

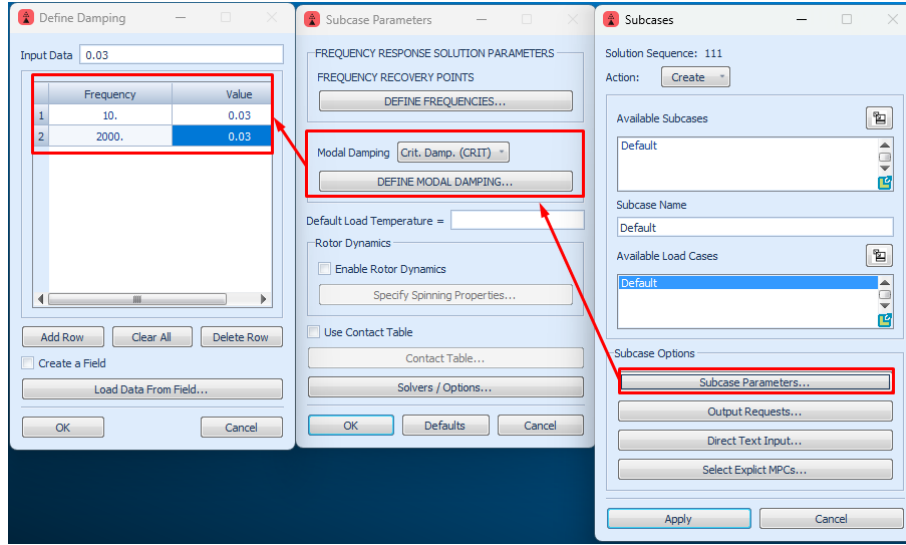
Modal sönümleme girdisi, sistemdeki titreşim enerjisinin ne kadar dağıldığını ve titreşimlerin ne kadar hızlı bir şekilde sönümlendiğini tanımlar. Yapının her bir modu için farklı bir modal sönümleme oranı belirlenebilir çünkü farklı modlar farklı derecelerde sönümlenebilir. Yapısal sönümlemeye benzer olarak, bütün sisteme atanan bir sönümleme türüdür. Yapılan dinamik analiz, modal tabanlı değilse modal sönümleme kullanılamamaktadır.

Eğer içerisinde sönümleme etkilerinden sadece modal sönümlemeyi içeren bir sistem düşünüldüğünde, sistemin hareket denklemi aşağıdaki gibi olacaktır:

$$\ddot{\xi}_k(t) + 2\zeta_k \omega_k \dot{\xi}_k(t) + \omega_k^2 \xi_k(t) = N_k(t)$$

Eşitlik 1: Modal Sönümlenmeli Hareket Denklemi

Eşitlik 1'de işaretlenen ifade modal sönümlemeyi ifade eder ve BDF dosyası içerisinde TABDMP1 kartıyla temsil edilir. TABDMP1 kartı modal sönümlemenin hangi frekans aralığında hangi değerlere sahip olacağını tanımlayan bir tablo oluşturma kartı olarak düşünülebilir.



Şekil 9: Modal Sönümleme Oluşturma Akışı

Şekil 9'da modal sönümlemenin Patran arayüzünden yapılması için gerekli akış gösterilmiştir.

Rayleigh Damping

Rayleigh damping, analiz modelinin kütle matrisine veya katılık matrisine orantılı olarak hesaplanan bir sönümlenme değeridir. Eğer sönümlenme, kütle matrisiyle orantılı ise BDF dosyası içerisinde PARAM,ALPHA1,x satırı girilebilir. Sönümlenme katılık matrisiyle orantılı ise PARAM,ALPHA2,y satırı kullanılabilir. Sönümlenmenin iki matrisin de fonksiyonu olduğu durumlarda iki parametre de aynı anda kullanılabilir. Kısaca Rayleigh sönümlenmesi aşağıdaki formülle ifade edilebilir.

$$[B] = [B^1] + ALPHA1 \cdot [M] + ALPHA2 \cdot [K]$$

Eşitlik 2: Rayleigh Sönümlenme Denklemi

Eşitlik 2'de yer alan [B1] ifadesi, modelin sahip olduğu viscous sönümlenme matrisini temsil etmektedir.

Bu noktada, Rayleigh ve modal sönümlenmeler arasında bir ilişki olduğu görülmektedir.

Modal sönümlenme kullanılan bir sistemin hareket denklemi aşağıdaki gibidir:

$$\{\ddot{\xi}\} + [2\zeta\omega]\{\dot{\xi}\} + [\omega^2]\{\xi\} = [\varphi]^T\{P(t)\}$$

Eşitlik 3: Modal Sönümlenmeli Hareket Denklemi

Rayleigh sönümlenme kullanılan bir sistemin denklemi aşağıdaki gibidir:

$$\{\ddot{\xi}\} + [\varphi]^T(\alpha_1[M] + \alpha_2[K])[\varphi]\{\dot{\xi}\} + [\omega^2]\{\xi\} = [\varphi]^T\{P(t)\}$$

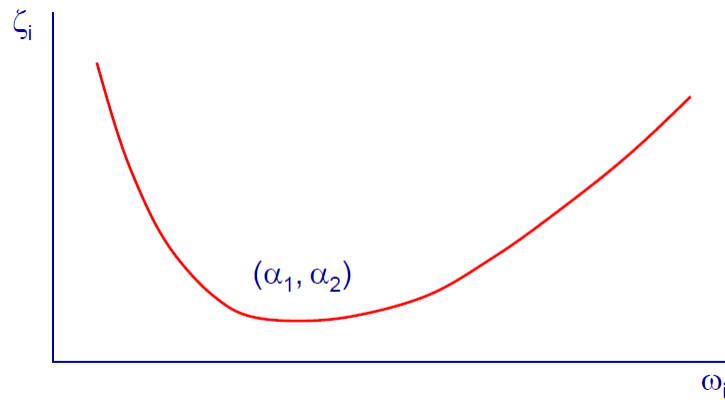
Eşitlik 4: Rayleigh Sönümlenmeli Hareket Denklemi

Denklemleri birbirlerine eşitlediğimizde modal sönümlenme ve Rayleigh sönümlenmenin arasındaki bağ aşağıda gösterilmiştir:

$$[2\zeta\omega] = [\varphi]^T(\alpha_1[M] + \alpha_2[K])[\varphi]$$

$$\zeta_i = \alpha_1/(2\omega_i) + \alpha_2\omega_i/2$$

Eşitlik 5: Modal ve Rayleigh Sönümlenmeleri Arasındaki İlişki



Şekil 10: Modal ve Rayleigh Sönümlenmeleri Arasındaki İlişki