



**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜLERİ
ORTAK YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat ÇELİK

**SERBEST TİTREŞEN PLAKELEMANIN
GÜÇLENDİRİLMESİNDE
GÜÇLENDİRİCİLERİN BOYUT
KATKISININ İNCELENMESİ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

OSMANİYE – 2015

**T.C.
OSMANIYE KORKUT ATA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SERBEST TİTREŞEN PLAK ELEMANIN
GÜÇLENDİRİLMESİNDE GÜÇLENDİRİCİLERİN BOYUT
KATKISININ İNCELENMESİ**

Murat ÇELİK

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**OSMANIYE
HAZİRAN-2015**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ORTAK YÜKSEK LİSANS**

**SERBEST TİTREŞEN PLAK ELEMANIN
GÜÇLENDİRİLMESİNDE GÜÇLENDİRİCİLERİN BOYUT
KATKISININ İNCELENMESİ**

Murat ÇELİK

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**OSMANİYE
HAZİRAN-2015**

TEZ ONAYI

SERBEST TİTREŞEN PLAK ELEMANIN GÜÇLENDİRİLMESİNDE GÜÇLENDİRİCİLERİN BOYUT KATKISININ İNCELENMESİ

Murat ÇELİK tarafından Yrd. Doç. Dr. Tuğrul TASLASLIOĞLU danışmanlığında Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalı'nda hazırlanan bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından oy birliği/çokluğu ile **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Tuğrul TASLASLIOĞLU
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, OKÜ

Üye: Yrd. Doç. Dr. Ali DOĞAN
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı,
İskenderun Teknik Üniversitesi

Üye: Yrd. Doç. Dr. Ahmet BEYCIÖĞLU
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, DÜZCE ÜNİVERSİTESİ

Yukarıdaki jüri kararı Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve /..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. A. Ali GÜRTEN
Enstitü Müdürü, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, çizelge ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, bu çalışma sonucunda elde edilmeyen her türlü bilgi ve ifade için ilgili kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını ve bu tezin Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

(İmza)

Murat ÇELİK

ÖZET

SERBEST TİTREŞEN PLAK ELEMANIN GÜÇLENDİRİLMESİNDE GÜÇLENDİRİCİLERİN BOYUT KATKISININ İNCELENMESİ

Murat ÇELİK

Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Tuğrul TALASLIOĞLU

Haziran 2015, 100 sayfa

Bu çalışmada, serbest titreşim yapan plak elemanın rijitliğinin artırılabilmesi için yapılan güçlendirmede hem güçlendirici hem de plak boyut parametrelerinin doğal frekans üzerindeki etkilerinin incelenmesi ve ilişkilendirilmesi amaçlanmıştır. Serbest titreşim altında güçlendirilmiş plak elemanın (GPE) rijitliğinin artırılmasının göstergesi olarak, Türk Deprem Yönetmeliğinin deprem kuvvetlerinin hesabında esas alınan, birinci periyodun değeri dikkate alınmıştır.

Bu bağlamda; güçlendirilmiş plak eleman geometrisi, plak eleman boyutları (L_x , L_y , L_z), plak kalınlığı (t_p), güçlendirici plak kalınlığı (t_w) ve güçlendirici sayısı (OfsetNum) olarak isimlendirilen boyut parametreleri ile tanımlanmış ve belirli bir maksimum-minimum değerleri ile sınırlandırılmıştır. Tezde kullanılan 6 (altı) farklı boyutsal parametre MATLAB programında matris formatında 6 (altı) farklı kombinasyon olarak oluşturulmuştur. Kombinasyonlara uygun olarak oluşturulan GPE probleminin modellenmesi ve analizi için ANSYS sonlu elemanlar programından yararlanılmıştır. İlgili kombinasyonlar ve bu kombinasyonlara denk gelen doğal frekans değerlerinin anlamlı olarak ilişkilendirilmesi için, doğrusal regresyon modeli kullanılmıştır. GPE boyutsal parametrelerinin tüm ve/veya çift olarak ilişkilendirilmeleri, elde edilen doğrusal regresyon modeli kullanılarak, grafikler ile tasvir edilmiştir. Ayrıca, elde edilen doğrusal regresyon modelin güçlülüğü ve/veya zayıflığı, sadece istatistiksel (F testi) teste bağımlı değil, aynı zamanda mevcut boyutsal parametrelerin vermiş olduğu tepki değerlerinin gerçek değerleri ile karşılaştırılması ile de ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: ANSYS, Güçlendirilmiş Plak, Serbest Titreşim, MATLAB

ABSTRACT

THE CONSIDERATION OF SIZING PARAMETER CONTRIBUTION OF STIFFENERS ON THE FREE VIBRATING STIFFENED PLATE ELEMENTS

Murat ÇELİK

M.Sc., Department of Civil Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Tuğrul TALASLIOĞLU

June 2015, 100 pages

The objective of this study is the consideration of both stiffener and plate sizing parameter contributions to the natural frequency and establishing a relation between/among them in the stiffening process made for increasing the rigidity of a free vibrating plate element. The first period value (minimum period or maximum natural frequency), which is taken as the basis in the modeling of structural seismic behavior according to the Turkish Earthquake Regulation, is taken into consideration as an indicator in order to measure the increasing rigidity degree of the stiffened plate element (SPE) under free vibration.

In this context; SPE geometry is defined with the sizing parameters called the plate element dimensions (L_x , L_y , L_z), the plate thickness (t_p), the stiffened plate thickness (t_w) and the stiffener number (OfsetNum). The sizing parameters of SPE is limited to their certain minimum-maximum values. 6 (six) different sizing parameters used in this thesis are combined in the MATLAB software in the matrix format as 6 (six) different combinations. For the analysis and modeling of the proposed SPE problem thereby created according to these combinations, the ANSYS finite elements program is utilized. Linear regression model is used to meaningfully correlate the related combinations with the natural frequency values. Relating the sizing parameters with each others thereby representing them with the full and/or double cases is made by using a linear regression model and described with graphical sketches. Furthermore, the strength and/or weakness of the obtained linear regression model are not solely evaluated depending on the statistical test (F Test) but also on

the comparison between its reaction values and the true values of frequency obtained using the current sizing parameters.

Key Words: ANSYS, Stiffened Plate, Free Vibration, MATLAB

Ailem'e..

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez konumun belirlenerek tez alışmamın yürütölmesini üstlenen, çalışmalarım süresince değerli bilgi ve tecrübeleriyle katkılarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Tuğrul TALASLIOğLU'na teőekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince bana desteklerini esirgemeyen kıymetli hocam sayın Prof.Dr. Cafer KAYADELEN'e, tezin her aşamasında bilgisiyle ve samimiyetiyle bana yardımcı olan Öğr.Grv. Hakan ERKEK 'e, tezin başlangıcından sonuna kadar büyük fedakarlığından dolayı kıymetli dostum ve iř arkadaşım Arř.Grv. Gökhan ALTAY'a en içten dileklerle teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, yalnızca tez çalışmam süresince değil, tüm yaşamım boyunca bana her konu ve konumda desteğini esirgemeyen Annem Fatma ÇELİK ve Babam Ali Haydar ÇELİK'e çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAYI	
TEZ BİLDİRİMİ	
ÖZET.....	i
ABSTRACT	iii
İTHAF	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
1.GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	6
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	11
3.1 Malzeme Tipi	11
3.1.1 Nümerik Analizde Kullanılan Malzeme Özellikleri.....	11
3.2 Yöntem	12
3.2.1 GPE'nın Analizine Ait Algoritma Şeması	12
3.2.2 Serbest Titreşim Yapan GPE'nın Modellenmesi Ve Analizi	13
3.2.2.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi	13
3.2.2.2 GPE'nın Modellenmesi	14
3.2.2.1.1 GPE'nın ANSYS Kullanılarak Modellenmesi	16
3.2.3 Serbest Titreşim Analiz Yöntemi	17
3.2.4 Serbest Titreşim Analiz Doğrulama Uygulama Örneği: Konsol Plak Uygulaması	17
3.2.5 Serbest Titreşim Yapan GPE'nın ANSYS İle Modelleme Örneği	18
3.2.6 Güçlendirilmiş Plak Elemanın Boyutlarının İlişkilendirilmesinde Kullanılan İstatistiksel Analiz Yöntemi	21
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	23
4.1 Birinci Durum	23
4.2 İkinci Durum	28
4.3 Üçüncü Durum	34
4.4 Dördüncü Durum	41
4.5 Beşinci Durum	51
4.5 Altıncı Durum	66
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	70
5.1 Sonuçlar	70
5.2 Öneriler	72
KAYNAKLAR	73
ÖZGEÇMİŞ	77
EKLER	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Çelik Malzeme Özellikleri	11
Çizelge 3.2 GPE Analiz Algoritması	12
Çizelge 3.3. Güçlendirilmiş Plak elemana ait minimum ve maksimum değerler	19
Çizelge 4.1. Birinci durum için değişken ve sabit boyutsal parametreler	23
Çizelge 4.2. İkinci durum için değişken ve sabit boyutsal parametreler	28
Çizelge 4.3. Üçüncü durum için değişken ve sabit boyutsal parametreler	34
Çizelge 4.4. Dördüncü durum için değişken ve sabit boyutsal parametreler	41
Çizelge 4.5. Beşinci durum için değişken ve sabit boyutsal parametreler	51
Çizelge 4.6. Altıncı durum için değişken ve sabit boyutsal parametreler	66

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Tünel GPE Kalıp Örneği	1
Şekil 1.2 Tünel Kalıp Örneği	2
Şekil 1.3 Plak Eleman Güçlendirme Tipleri	3
Şekil 2.1 GPE'nin İmalat Aşaması.....	10
Şekil 3.1. Şekil 3.1 SHELL181 Elemanı	15
Şekil 3.2. Şekil 3.2 Güçlendirilmemiş Plak Eleman	16
Şekil 3.3 Konsol Plak Elemanı	18
Şekil 3.4 Konsol Plak Eleman doğal frekans değerleri	18
Şekil 3.5 Güçlendirilmiş plak eleman geometrisi ve boyut parametreleri	19
Şekil 3.6 Minimum Boyutlarda Güçlendirilmiş Plak Eleman	20
Şekil 3.7 Maksimum Boyutlarda Güçlendirilmiş Plak Eleman	20
Şekil 4.1 Birinci durumda (4.1) regresyon denkleminde ait lineer regresyon analizi	25
Şekil 4.2 Birinci durumda (4.2) regresyon denkleminde ait lineer regresyon analizi	25
Şekil 4.3 Birinci durumda (4.3) regresyon denkleminde ait lineer regresyon analizi	26
Şekil 4.4 Birinci durumda (4.4) regresyon denkleminde ait lineer regresyon analizi	26
Şekil 4.5 Birinci durum için plak eleman kalınlığı(t_p) 'nın doğal frekansa katkısı	27
Şekil 4.6 Birinci durum için tahmin edilen hata miktarlarının gerçek değerlerle kıyaslanması	28
Şekil 4.7 Plak kalınlığı (t_p) ve güçlendirici kalınlığı (t_w)'nın doğal frekansa olan katkısı	30
Şekil 4.8 Plak kalınlığı (t_p) ve güçlendirici kalınlığı (t_w) arasındaki ilişki	30
Şekil 4.9 Plak kalınlığı (t_p) ve güçlendirici kalınlığı (t_w)'nın doğal frekans üzerindeki etkisi	32
Şekil 4.10 İkinci durum için tahmin edilen hata miktarlarının gerçek değerlerle kıyaslanması	33
Şekil 4.11 Plak kalınlığı (t_p) ve güçlendirici kalınlığı (t_w) ve güçlendirici yüksekliği (L_y)'nin doğal frekans üzerindeki etkisi	35

Şekil 4.12 Güçlendirici kalınlığı (tw) ve güçlendirici plak yüksekliği (Ly)'nin doğal frekans değerine katkısı	36
Şekil 4.13 Güçlendirici kalınlığı (tw) ve güçlendirici plak yüksekliği (Ly) arasındaki ilişki	36
Şekil 4.14 Plak kalınlığı (tp) ve güçlendirici plak yüksekliği (Ly)'nin doğal frekansa katkısı.....	37
Şekil 4.15 Plak kalınlığı (tp) ve güçlendirici plak yüksekliği (Ly) arasındaki ilişki.....	37
Şekil 4.16 Plak kalınlığı (tp) ve güçlendirici kalınlığı (tw)'nin doğal frekansa katkısı.....	38
Şekil 4.17 Plak kalınlığı (tp) ve güçlendirici kalınlığı (tw) arasındaki ilişki.....	38
Şekil 4.18 Plak kalınlığı (tp) ve güçlendirici kalınlığı (tw) ve güçlendirici plak yüksekliği (Ly)'nin doğal frekans üzerindeki katkısının tek bir grafikte gösterilmesi	39
Şekil 4.19 Üçüncü durum için tahmin edilen hata miktarlarının gerçek değerlerle kıyaslanması	40
Şekil 4.20 Plak kalınlığı (tp), güçlendirici kalınlığı (tw), güçlendirici plak yüksekliği (Ly) ve güçlendirici sayısı (OfsetNum)'nin doğal frekans üzerindeki katkıları.....	42
Şekil 4.21 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve güçlendirici plak yüksekliği (Ly)'nin doğal frekans üzerindeki birlikte katkıları	42
Şekil 4.22 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve güçlendirici plak yüksekliği (Ly) arasındaki ilişki	43
Şekil 4.23 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve güçlendirici plak kalınlığı (tw)'nin doğal frekansa katkısı.....	43
Şekil 4.24 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve güçlendirici plak kalınlığı (tw) arasındaki ilişki.....	44
Şekil 4.25 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve plak kalınlığı (tp)'nin doğal frekansa katkısı.....	44
Şekil 4.26 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve plak kalınlığı (tp) arasındaki ilişki.....	45
Şekil 4.27 Güçlendirici kalınlığı (tw) ve güçlendirici yüksekliği (Ly)'nin doğal frekansa katkısı.....	45

Şekil 4.28 Güçlendirici Kalınlığı (tw) ve güçlendirici yüksekliği (Ly) arasındaki ilişki	46
Şekil 4.29 Plak kalınlığı (tp) ve güçlendirici yüksekliği (Ly)'nin doğal frekansa katkısı.....	46
Şekil 4.30 Plak kalınlığı (tp) ve güçlendirici yüksekliği (Ly) arasındaki ilişki	47
Şekil 4.31 Plak kalınlığı (tp) ve güçlendirici kalınlığı (tw)'nin doğal frekansa katkısı.....	47
Şekil 4.32 Plak kalınlığı (tp) ve güçlendirici kalınlığı (tw) arasındaki ilişki	48
Şekil 4.33 Plak kalınlığı (tp),güçlendirici kalınlığı (tw), Güçlendirici yüksekliği (Ly) ve güçlendirici sayısı (OfsetNum)'nin doğal frekans üzerindeki katkılarının tek grafik üzerinde görüntülenmesi	49
Şekil 4.34 Dördüncü durum için tahmin edilen hata miktarlarının gerçek değerlerle kıyaslanması	50
Şekil 4.35 Plak kalınlığı (tp),güçlendirici kalınlığı (tw), güçlendirici yüksekliği (Ly), plak uzunluğu (Lx) ve güçlendirici sayısı (OfsetNum) 'nin doğal frekansa katkısı.....	53
Şekil 4.36 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve güçlendirici plak yüksekliği (Ly)'nin doğal frekans üzerindeki katkıları	53
Şekil 4.37 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve güçlendirici plak yüksekliği (Ly) arasındaki ilişki	54
Şekil 4.38 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve güçlendirici kalınlığı (tw)'nin doğal frekans üzerindeki katkıları	54
Şekil 4.39 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve güçlendirici kalınlığı (tw) arasındaki ilişki	55
Şekil 4.40 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve plak kalınlığı (tp)'nin doğal frekans üzerindeki katkıları	55
Şekil 4.41 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve plak eleman kalınlığı (tp) arasındaki ilişki	56
Şekil 4.42 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve plak uzunluğu (Lx)'nun doğal frekans üzerindeki katkıları.....	56
Şekil 4.43 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve plak uzunluğu (Lx) arasındaki ilişki.....	57
Şekil 4.44 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve plak uzunluğu (Lx)'nun doğal frekans üzerindeki katkıları.....	57

Şekil 4.45 Güçlendirici yüksekliği (L_y) ve güçlendirici plak kalınlığı (t_w) arasındaki ilişki	58
Şekil 4.46 Güçlendirici yüksekliği (L_y) ve plak kalınlığı (t_p)'nın doğal frekans üzerindeki katkı	58
Şekil 4.47 Güçlendirici yüksekliği (L_y) ve plak kalınlığı (t_p) arasındaki ilişki.....	59
Şekil 4.48 Güçlendirici yüksekliği (L_y) ve plak uzunluğu (L_x)'nin doğal frekans üzerindeki katkıları 1.....	59
Şekil 4.49 Güçlendirici yüksekliği (L_y) ve plak uzunluğu (L_x) arasındaki ilişki.....	60
Şekil 4.50 Güçlendirici kalınlığı (t_w) ve plak kalınlığı (t_p)'nın doğal frekans üzerindeki katkıları.....	60
Şekil 4.51 Güçlendirici kalınlığı (t_w) ve plak kalınlığı (t_p) arasındaki ilişki	61
Şekil 4.52 Güçlendirici kalınlığı (t_w) ve plak uzunluğu (L_x)'nin doğal frekans üzerindeki katkıları.....	61
Şekil 4.53 Güçlendirici kalınlığı (t_w) ve plak uzunluğu (L_x) arasındaki ilişki.....	62
Şekil 4.54 Plak uzunluğu (L_x) ve plak kalınlığı (t_p)'nin doğal frekans üzerindeki katkıları.....	62
Şekil 4.55 Güçlendirici kalınlığı (t_w) ve plak uzunluğu (L_x) arasındaki ilişki.....	63
Şekil 4.56 Plak kalınlığı (t_p), güçlendirici kalınlığı (t_w), Güçlendirici yüksekliği (L_y), plak uzunluğu (L_x) ve güçlendirici sayısı (OfsetNum)'nin doğal frekans üzerindeki katkılarının tek grafik üzerinde görüntülenmesi.....	64
Şekil 4.57 Beşinci durum için tahmin edilen hata miktarlarının gerçek değerlerle kıyaslanması	65
Şekil 4.58 Güçlendirici sayısı OfsetNum ile plak uzunluğu (L_x) arasındaki ilişki.....	67
Şekil 4.59 GPE boyutsal parametreleri olan t_p , t_w , L_x , L_y , L_z 'nin sistemin doğal frekansı üzerindeki katkıları.....	68
Şekil 4.60 Altıncı durum için tahmin edilen hata miktarlarının gerçek değerlerle kıyaslanması	69

SİMGELER ve KISALTMALAR

GPE	Güçlendirilmiş Plak Eleman	
tp	Plak eleman kalınlığı	(m)
tw	Güçlendirilmiş Plak Eleman kalınlığı	(m)
Lx	Plak eleman uzunluğu	(m)
Ly	Güçlendirilmiş plak yüksekliği	(m)
Lz	Plak eleman genişliği	(m)
OfsetNum	Güçlendirici plak sayısı	
E	Elastisite Modülü	(N/m ²)
ρ	Yoğunluk	(N/m ³)

1.GİRİŞ

Güçlendirilmiş plak elemanın (GPE), güçlendirilmemiş plak elemanlara göre, statik ve dinamik etkiler altında, mukavemetinin fazla olmasından dolayı günümüzde birçok mühendislik alanında tercihen kullanılmaktadır. GPE, doğrusal plak elemanı yanı sıra eğrisel plak elemanı yani kabuk eleman kullanılarak da imal edildiğini unutulmamalıdır. Özellikle başta yapı mühendisliği olmak üzere, gelişen teknolojiyle paralel olarak uçak, gemi gövdeleri, köprü ve benzeri yapıların tasarlanmasında bu elemanlardan sıklıkla yararlanılmaktadır. Şekil 1.1 ve Şekil 1.2'de günümüzde GPE'a ait bazı Tünel Kalıp Örnekleri gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Tünel GPE Kalıp Örneği (www.epoksiboyakumlama.com)

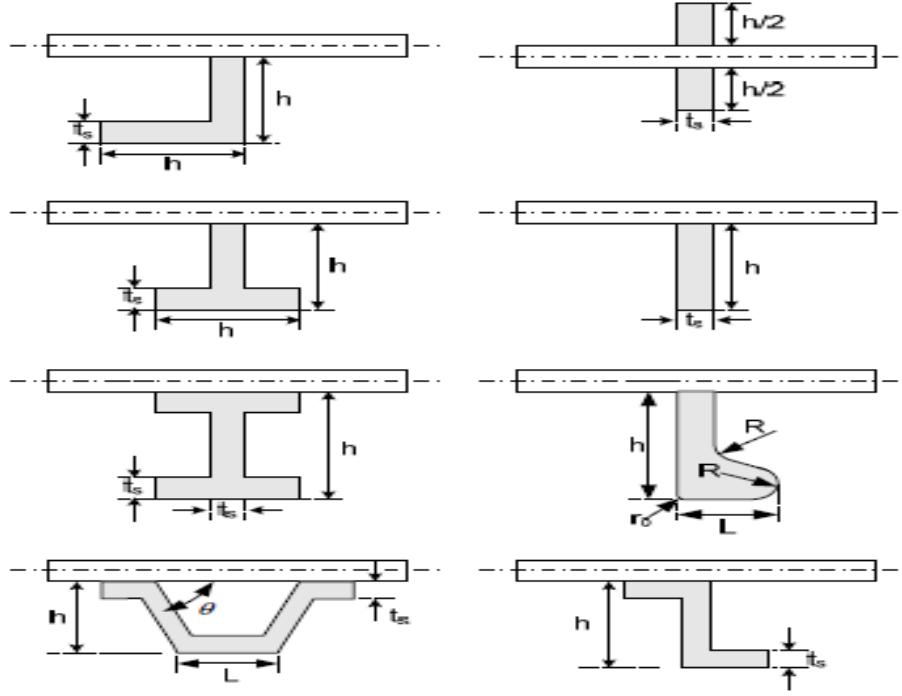


Şekil 1.2 Tünel Kalıp Örneği (www.tunelkalip.com.tr)

GPE konusuna yönelik ilk çalışmalardan biri Schade (1940) tarafından yapılmıştır. Yapılan çalışmada güçlendirilmiş plaklar, sabit kalınlıkta tek bir plak elemana dönüştürülerek analiz edilmiştir.

Her ne kadar GPE'nin statik yükler altında mukavemetinin fazla olması aşıkarsa da, hem güçlendiricilerin hem de plak elemanların birlikteliğinden doğabilecek bazı dezavantajlarının göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Örneğin, GPE yanal veya diğer yüklemeler nedeniyle meydana gelebilecek burkulma davranışını karşılayabilecek bir tasarıma sahip olmalıdır. Plak elemanlarda bölgesel burkulmayı karşılayabilmek için Klitchieff (1973), boyuna güçlendiricilerin minimum boyutlarının tespitine yönelik çalışmalarda bulunmuştur.

Plak elemanların güçlendirilmesinde literatürde birçok farklı yöntem bulunmakla beraber, günümüzde kullanılan güçlendirme şekilleri Şekil 1.3'de gösterildiği gibidir.



Şekil 1.3 Plak Eleman Güçlendirme Tipleri (Yıldız,2007)

Plak elemanların doğrusal dinamik davranışlarına ait çalışmalardan, izotropik dörtgen plaklar konusu özellikle literatürde sık rastlanan konulardandır. Aksu ve Ali (1976), GPE'nin serbest titreşimi konusunda çalışmalarda bulunmuşlardır.

Plak elemanların zamana bağlı olarak değişen yükler altında analizi zordur. Bilgisayar teknolojisinde son yıllarda meydana gelen gelişmeler bu tür mühendislik problemlerinin daha kolay çözümlenebilmesine olanak sağlamıştır. Özellikle sonlu elemanlar yöntemi, ilgili problemlerin tasarımı ve analizinde sıklıkla kullanılmaktadır.

Bilgisayar teknolojisindeki ilerlemeler, söz konusu yapı elemanlarının sonlu elemanlar yöntemi ile modellenip analiz edilmesinde ve hesapsal yükü azaltmasında büyük önem taşımaktadır. Bu konuda, Ghavami ve Khedmati (2006), yüksek hız ve hafızadaki bilgisayarların gelişmesiyle sonlu elemanlar programının, güçlendirilmiş plakların farklı konfigürasyonları ve çökmeler ile burkulma ve burkulma sonrası davranışları tahmin etmede hızlı ve ucuz bir yöntem olarak kullanıldığını göstermiştir ve sonlu elemanlara dayalı ticari yazılım tekniği ile

güçlendirilmiş plakların elastik-plastik davranışlarının tespitine yönelik çalışmalar yapmıştır. Sonlu elemanlar yönteminin yukarıda bahsedilen avantajlarının yanında bazı dezavantajları da mevcuttur. Programda modellenen sonlu elemanın ağ yapısına ayrılması sonucunda (meshing) güçlendiriciler ile plak eleman düğüm noktalarının çakışması ve/veya düzgün bir ağ yapısının elde edilememesi gibi problemler söz konusu sonlu eleman programının dezavantajları arasında gösterilebilir. Yine de mevcut olan şartlara uygulanabilirliği ve nümerik-deneysel sonuçlar arası en yakın çözümün elde edilebilirliği açısından sonlu elemanlar yöntemi literatürde günümüzde en yaygın kullanılan çözüm yöntemidir (Guove ve Harik, 1992).

Reddy (1979), tipik bir birinci dereceden kesme deformasyon plak teorisine dayalı bir sonlu eleman yöntemi geliştirmiş ve basit mesnetlenmiş bir plak elemanın doğal frekansını ölçmüştür.

Makul bir doğruluk ile ekonomik bir çözüm sağlamak için yarı-analitik sonlu şerit yöntemi, özellikle düzenli şekildeki yapıların çözümü için önerilmektedir. Bu yöntem genel olarak düzenli şekildeki yapıların analizinde kullanılmaktadır ancak karmaşık formda sınır şartlarına sahip olmaları, sürekli açıklık iç destekler ve benzer yapıdaki durumlar nedeniyle bu yöntemin kullanımında bazı engeller ortaya çıkabilmektedir (Li ve Cheung ,1986).

Bu tür yapıların çözümünde kullanılan diğer bir yöntem olan sonlu şerit birleştirme yöntemi daha sonraları yarı-analitik sonlu şerit yönteminin tamamlayıcısı olarak önerilmiştir (Cheung ve Fan,1982). Bu metotta, birleştirici fonksiyon şeritin boyuna doğrultudaki deplasman interpolasyon fonksiyonu olarak kullanılır ve geleneksel sonlu şerit yönteminin çoğunlukla eksikliklerinin üstesinden gelmesine yardımcı olur. Ayrıca birleştirici fonksiyon keskin deformasyon değişikliklerini oldukça iyi bir şekilde temsil edebilir (Chen ve Tham,1984).

Yarı-analitik sonlu şerit yöntemi, genelleştirildiği için rastgele şekillere sahip plakları tek bir şekil fonksiyonu ile analiz edebilmektedir. Bu nedenle bu metot nispeten daha ekonomiktir. Daha az genelliğe sahip olması bu yöntemin eksiklikleri arasında gösterilmektedir (Li ve Cheung,1986). Yöntem ayrıca güçlendirilmiş plakların

doğrusal bir aralık içinde statik ve serbest titreşim analizlerinde de kullanılmaktadır (Sheikh ve Mukhopadhyay,1992).

Bu tez çalışmasında, güçlendirilmiş plak eleman geometrisi, plak eleman boyutları (L_x , L_y , L_z), plak kalınlığı (t_p), güçlendirici plak kalınlığı (t_w) ve güçlendirici sayısı (OfsetNum) olarak isimlendirilen boyut parametreleri ile tanımlanmış ve belirli bir maksimum-minimum değerleri ile sınırlandırılmıştır. Tezde kullanılan 6 (altı) farklı boyutsal parametre MATLAB programında matris formatında 6 (altı) farklı kombinasyon olarak oluşturulmuştur. Kombinasyonlara uygun olarak oluşturulan GPE probleminin modellenmesi ve analizi için ANSYS sonlu elemanlar programından yararlanılmıştır. İlgili kombinasyonlar ve bu kombinasyonlara denk gelen doğal frekans değerlerinin anlamlı olarak ilişkilendirilmesi için, doğrusal regresyon modelinden faydalanılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Güçlendirilmiş plak elemanlar hafif ve yüksek mukavemetli yapı elemanlarıdır. Simetrik olarak düzenlenebilmesinden dolayı fabrikalarda otomatik olarak seri biçimde üretilebilmektedir. Bu özelliklerinden dolayı köprü ,çatı, sondaj kuleleri, gemi mühendisliği, havayolu mühendisliği de dahil olmak üzere bir çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. GPE elemanların dinamik ortam faaliyetleri ve dinamik karakterleri onların serbest titreşimlerinin kontrolünde önem arz etmektedir. Güçlendirilmiş plaklar verimli birer yapı elemanıdır. Ancak bu elemanların basınç yükü altında çökme mekanizmaları plak ve güçlendiricinin; geometrik yapısı, malzeme tipi, sınır şartları ve yüklerin mümkün olan geniş kombinasyonları karmaşık bir mühendislik problemi oluşturur. Bu tür yapıların tasarımı; yapıların ağırlıklarının minimizasyonu ve burkulma yükünün maksimizasyonu gibi durumları karşılayacak şekilde olmalıdır.

Güçlendirilmiş plak elemanların analizi için ortotropik plak teorisi global burkulmayı tahmin etmek için kullanılabilir. Ancak bölgesel burkulma ve plak eleman ile güçlendirici arasındaki etkileşimin tahmini için uygun değildir. Güçlendirilmiş plak elemanlarda fabrikasyondan kaynaklanan başlangıç kusurları kaçınılmazdır. Bu yapı elemanların burkulma mekanizması, kavis yönünün plak ya da güçlendirici boyunca olup olmadığıyla güçlü bir şekilde doğrudan ilişkilidir (Brosowski ve Ghavami,1997).

Farklı yük koşulları altında güçlendirilmiş plakların burkulma davranışı deneysel ve nümerik olarak geçmişte yapılan çalışmalarda sunulmuştur. Chen ve diğ.(1997), tekil ya da yanal yük ile kombinasyon halinde düzlem boyunca basınç etkisi altında 12 adet güçlendirilmiş plak eleman üzerinde bir dizi deneysel çalışmada bulunmuşlardır. Çalışmada kullanılan örnekler farklı hasar koşullarındadır.

Mukhopadhyay ve Mukherjee (1989), Thompson, vd. (1989), Güçlendirilmiş plak elemanların analizi ile ilgili birçok farklı yaklaşım bulunmakla beraber genellikle beş farklı sonlu eleman modeli üzerinde durulmaktadır. Bu konuda ilk araştırmacılar,

güçlendirilmiş plak elemanı ortotropik özelliklerle modellemişlerdir. Bu modelde güçlendiricilerin plak levhaya kaynak olduğu varsayılır ve yapı ortogonal yönlerde farklı özelliklere sahip eşdeğer bir plakla değiştirilir. İkinci yaklaşımda güçlendirilmiş plaklar, düzlem yapılı kesişen kiriş elemanla değiştirilmektedir. Kirişlerin eşdeğer özellikleri güçlendiriciler ve plak elemanın efektif genişliği dikkate alınarak tespit edilir. Üçüncü yaklaşım ise güçlendirici elemanların plak elemana katlanarak uygulanması esasına dayanır. Bu modelde bir plak içerisinde yer alan güçlendiriciler, plak elemanın düğüm hatlarına kaydırılmaktadır. Yani, sonlu elemanın ağ yapısını (mesh) güçlendiricilerin konumu belirlemektedir.

Holopainen (1994), ilk iki yaklaşımda olduğu gibi bu yaklaşımda da asıl yapı farklı geometrik yapıdaki modifiye bir yapı elemanı ile değiştirilmektedir. Güçlendiriciler seyrek ya da düzensiz olduğunda ilk üç yaklaşım ciddi hatalara neden olabilmektedir. Dördüncü yaklaşımda, kaplamaların plak elemanlarla güçlendiricilerin ise kiriş elemanlar ile modellenmesi esasına dayanmaktadır. Bu modelde güçlendiricilerin konumu, kaplamanın sonlu eleman ağının düzenini belirler. Beşinci yaklaşım güçlendirilmiş plak elemanların kullanımına dayanmaktadır. Bu yaklaşımda kullanılan formülasyonun temel avantajı güçlendiricilerin plak eleman içerisinde herhangi bir yerde yer alabilmesi ve onların nodal (düğüm) hatlarını takip etmek zorunda olmamalarıdır.

Güçlendirilmiş plak elemanların çözümünde bir çok ticari yazılım bulunmaktadır. Hu ve Jiang (1998), temel olarak sonlu elemanlar programına dayanan VAST ve ADINA adında iki tane ticari program kullanarak Chen'in yapmış olduğu mevcut testlere benzer analizler gerçekleştirmiştir.

Grondin, vd. (1999), ticari tabanlı ABAQUS sonlu elemanlar programı yardımıyla güçlendirilmiş plakların burkulma davranışları üzerinde parametrik bir çalışmada bulunmuştur. Sheikh, vd. (2003), aynı çalışmayı genişleterek düzlem basınç ve eğilmenin birlikte etkisini araştırmak için aynı programı kullanmıştır.

Güçlendirilmiş plaklar üzerinde yapılan nümerik çalışmaların büyük bir kısmında plak elemanlar uniform olarak ağ yapılarına(mesh) ayrılmış ve güçlendiriciler plak

elemanların doğal koordinatları boyunca konumlanmıştır. Bu yaklaşımlardan farklı olarak yalnızca Thompson, vd. (1989), güçlendiricilerin plak elemanın doğal koordinatları boyunca konumlanmadığı ve düzenli olmayan bir ağ yapısıyla ayrıldığı nümerik bir örnek model sunmuştur.

Güçlendiricilerin, plak elemanların içinde bulunup bulunmamasının doğruluğu ile ilgili farklı bazı görüşler mevcuttur. Deb ve Booton (1988), bu iki yaklaşımı birbirleriyle kıyaslamıştır. Bunların ilkinde güçlendiriciler plak elemanın içinde yer alırken diğerinde güçlendiriciler plak eleman sınır noktalarına yerleştirilmiştir. Yapılan analiz sonuçlarında çok az bir farklılık gözlemlenmiştir.

Sinha ve Mukhopadhyay (1994), yüksek hassasiyetli güçlendiricilerin plak eleman içinde, herhangi bir konumda bulunan üçgen formda yüzeysel kabuk eleman bulunan güçlendirilmiş kabuk elemanlar üzerinde bir dizi çalışmalarda bulunmuşlardır.

Holopainen (1994), yaptığı çalışmada yeni bir sonlu eleman modeli üzerinde durmuştur.. Modelde kullanılan formülasyon, dokuz düğümden oluşan dörtgensel eleman MITC9(tensörel bileşenlerin karışık interpolasyonu)'a dayanmaktadır. Çalışmanın matematiksel modelinde Reissner- Mindlin plak teorisi kullanılmış, deformasyon geçişleri her yerde küçük ve lineer elastik analize uygun kabul edilmiştir.

Barik ve Mukhopadhyay (2002), plak elemanlar ve güçlendiricilerin formülasyonunu birinci dereceden deformasyon teorisine dayandırmış yani hem kalın hem de ince plaklara uygulanabilir olduğunu önermişlerdir.

Güçlendirilmiş plak elemanların titreşim analizine yönelik geçmişte bir çok çalışmada bulunulmuştur. Bu çalışmalarda farklı türlerde metotlar kullanılmakla beraber, aralarında en çok tercih edileni şüphesiz sonlu elemanlar metodudur.

Olson ve Hazell (1977), sonlu elemanlar ve gerçek zamanlı holografik yöntemleri kullanarak güçlendirilmiş plakların ilk yirmi dört (24) karakteristik frekanslarını ölçmüşlerdir.

Mustafa ve Ali (1987), güçlendirilmiş bir diyafram uçlu silindirik kabuk elemanın serbest titreşimi üzerinde çalışmak için sabit düğümlü ortogonal, güçlendirilmiş bir süper-sonlu eleman geliştirmiştir.

Mukherjee ve Mukhopadhyay (1988), güçlendirilmiş plak elemanların serbest titreşim analizlerinde benzer davranış gösteren sayısal bir çalışmada bulunmuştur. Fakat bu iki durumun kıyaslanması ile ilgili literatürde sınırlı sayıda çalışma yer almaktadır. Yapılan çalışmaların birçoğu uniform ağ yapısına sahip olan çalışmalardır.

Cheng ve Dade (1990), Gauss kollokasyon metodunu kullanarak, güçlendirilmiş plak ve kabuk elemanların dinamik analizlerini gerçekleştirmiştir.

Accrorsi ve Bennett (1991), ortogonal güçlendirilmiş silindirik kabuklarda elastik dalga yayılma karakterlerini tespit etmek için tek periyodik birimli sonlu bir elemana dalga yayılma tekniğini uygulamıştır.

Mecitoglu ve Dokmeci (1991), ince güçlendirilmiş yüzeysel silindirik kabukların serbest titreşim analizlerini klasik ince ortotropik yüzeysel kabuk teorisi çerçevesinde kollokasyon yöntemi yardımıyla analiz etmiştir.

Koko ve Olson (1992), güçlendirilmiş plak elemanların serbest titreşimlerini modellemek için daha karmaşık bir interpolasyon fonksiyonlu başka bir süper eleman modeli geliştirmiştir.

Rao, vd. (1993), örtülü güçlendirilmiş plakların doğal frekanslarını üçgen yüzeysel sonlu bir kabuk eleman yardımıyla analiz etmiştir.

Nayak ve Bandyopadhyay (2002), güçlendirilmiş çift katlı yüzeysel eğik kabuk elemanların serbest titreşim davranışları için bir sonlu eleman analiz yöntemi önermişlerdir. Bu çalışmalarında sekiz veya dokuz düğüm noktasından oluşan çift katlı izoparametrik ince yüzeysel kabuk eleman ile üç düğümden oluşan izoparametrik çift katlı kiriş eleman kullanmışlardır.

Samantha ve Mukhopadhyay (2004), üç düğüm noktasından oluşan yeni bir güçlendirilmiş kabuk eleman geliştirmiş ve bunu yapıların doğal frekans ile mod şekillerini tespit edebilmek için uygulamıştır.



Şekil 2.1 GPE'nin İmalat Aşaması (www.twi-global.com)

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1 Malzeme Tipi

Tez çalışmasında kullanılan plak eleman ve güçlendiricisi çeliktir. Plak ve güçlendirici elemana ait model ANSYS programında ‘‘Element Type’’ bölümündeki sonlu eleman modellerinden seçilmiştir.

3.1.1 Nümerik Analizde Kullanılan Malzeme Özellikleri

Tez çalışmasında kullanılan çelik plak ve güçlendiricisine ait malzeme özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

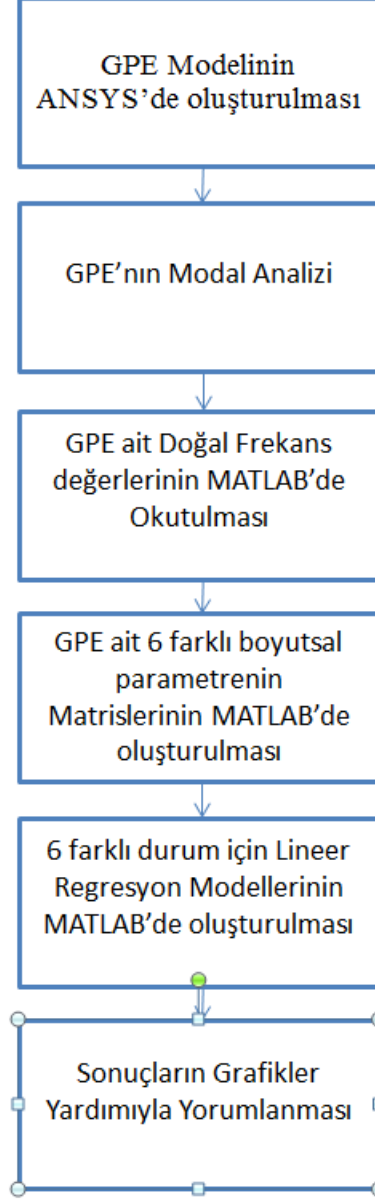
Çizelge 3.1 Çelik malzeme özellikleri

Özellik	Değer
Elastisite Modülü	$2 \times 10^{11} \frac{N}{m^2}$
Poisson Oranı	0.3
Yoğunluk	$7.7 \times 10^4 \frac{N}{m^3}$

3.2 Yöntem

3.2.1 GPE'nin Analizine Ait Algoritma Şeması

Çizelge 3.2 GPE Analiz Algoritması



3.2.2 Serbest Titreşim Yapan Güçlendirilmiş Plak Elemanın Modellemesi ve Analizi

Tez çalışmasında kullanılan güçlendirilmiş plak elemanın modeli sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Elde edilen güçlendirilmiş plak eleman modelinin serbest titreşimi sonucunda doğal frekanslar, “Block Lanczos” isimli analiz yöntemi ile hesaplanmıştır. Gerek modelin oluşturulmasında gerek serbest titreşim analizinin yapılmasında, ANSYS isimli hazır paket programdan faydalanılmıştır.

3.2.2.1 Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi; farklı mühendislik alanlarında kullanılan nümerik bir yöntem olup karmaşık yapıdaki problemlerin daha basit yapıdaki küçük problemlere bölünüp, her bir parçanın kendi içerisinde çözümüyle genel çözümün ifade edildiği bir yöntemdir. Öncelikle topolojik olarak karmaşık olan bölge geometrik olarak daha basit parçalara ayrılır. Sonra her elemana ait fonksiyonlar doğrusal kombinasyonlar ile ifade edilmeye çalışılır.

Sonlu elemanlar yöntemi için diğer bir kabul ise, problemde basit parçalara ayrılmış olan her bir elemanın tanım denklemlerinden düğüm noktalarının çözümünün elde edilmesidir. Tanım denklemlerinin derecesi problemin karmaşıklığına dolayısıyla da düğüm noktası sayısına bağlı olarak değişir. Gerilme, yer değiştirme, basınç, sıcaklık vs. gibi sürekli değişkenler sonsuz sayıda farklı değer alabilmektedir. Sistemde bilinmeyen sayısı fonksiyonun mertebesini belirler. Sürekli ortama ait olan alt bölgeler de bütünü temsil eden karakterde olduğundan bu denklemlerin birleştirilmesiyle probleme ait genel bir denklem elde edilir (Topçu ve Taşgetiren,1998).

Ramakrishnan ve Kunukkasseril (1976), güverte için yapılan plak elemanın serbest titreşim analizi için analitik bir yöntem sunmuştur.

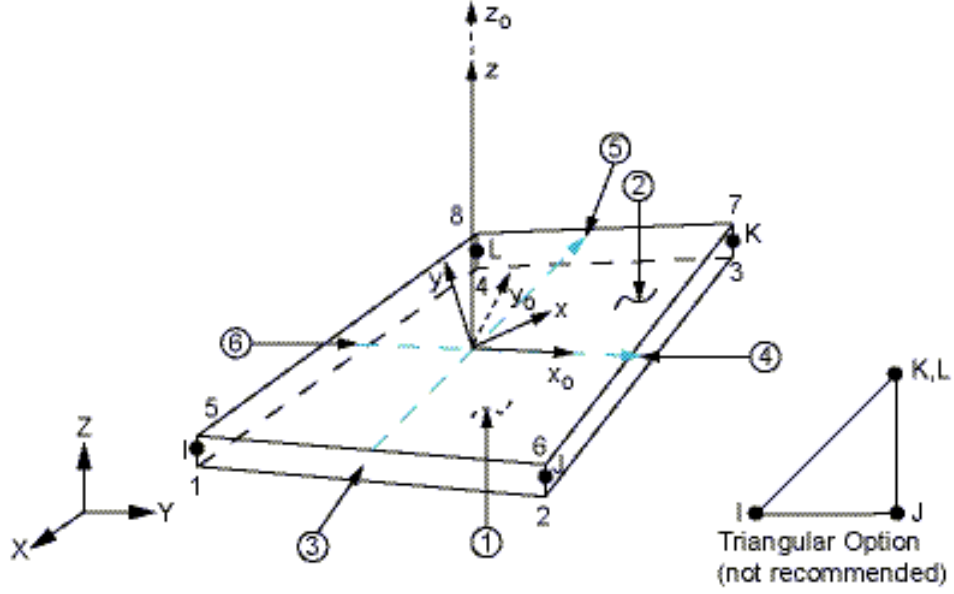
Mukhopadhyay (1994), titreşim, stabilite ve eğilme analizi için yarı analitik bir yöntem üzerinde çalışmalarda bulunmuştur. Fakat bu yöntemler kompleks yapılara uygulanabilmesi açısından metodolojik olarak bazı sakıncalar doğurmaktadır. Sonraki dönemlerde, sonlu elemanlar, sonlu farklar, sınır eleman ve serbest ağ

yöntemler gibi daha verimli ve daha kolay uygulanabilir birçok farklı sayısal yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında sonlu elemanlar yönteminin diğer yöntemlere nazaran birçok avantajı bulunmaktadır. Sonlu elemanlar yönteminde, güçlendirilmiş plaklar sıklıkla güçlendirici ve plak eleman olarak ayrılmaktadır. Daha sonra plak yine bir plak eleman olarak, güçlendiriciler ise kiriş eleman olarak modellenmektedir. Bu tür modelleme yöntemlerinde araştırmacılar Mindlin-Reissner yöntemine ek olarak Kirchhoff ince plak teorisini kullanmaktadır. Bu bağlamda gelişen bilgisayar teknolojisine bağlı olarak bazı bilgisayar programları geliştirilerek bu tip problemlerin çözümünde yaklaşık çözümler elde edilmiştir.

Sonlu elemanlar yönteminin en yaygın kullanıldığı programlardan birisi de ANSYS programıdır. Barbosa ve Riberio (1998), güçlendirilmiş yapı elemanlarının ANSYS programında doğrusal olmayan modellerin oluşturulması konusunda çalışmalarında bulunmuşlardır.

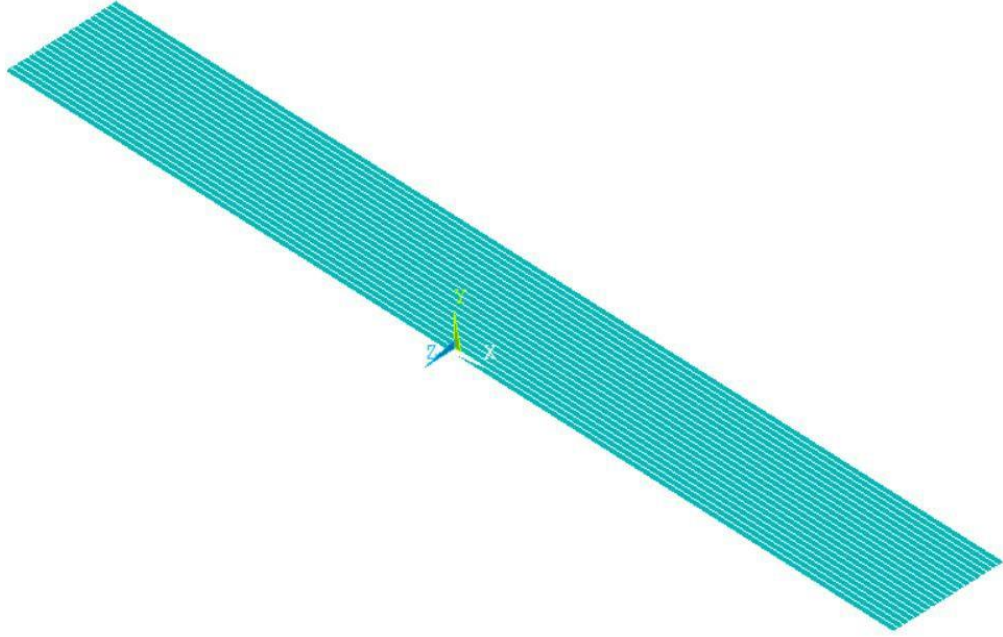
3.2.2.2 Güçlendirilmiş Plak Elemanın Modellenmesi

Güçlendirilmemiş ve GPE olarak SHELL181 sonlu elemanı kullanılmıştır. İnce, orta veya kalın kabuk yapıları için uygundur. Her düğüm noktası altı serbestlik derecesine sahiptir. SHELL181 elemanı doğrusal, büyük gerilme ve dönme hareketi gösteren veya doğrusal olmayan uygulamalarda kullanılmaya oldukça uygundur. Eleman formülasyonu logaritmik gerilme ve gerçek basınç ölçümlerine dayanmaktadır.



Şekil 3.1 SHELL181 Elemanı (ANSYS Mechanical APDL)

Bu çalışmada; plak eleman modeli, boyutsal parametreler açısından irdelenmiş ve parametreler arasındaki ilişki ile doğal frekans üzerindeki katkıları tartışılmıştır. Bunun için öncelikle basit bir çelik plak modeli oluşturulmuş daha sonra plak eleman bir ucundan ankastre mesnetlenerek elemanın serbest titreşmesi sağlanmıştır. Şekil 3.2’de tipik bir güçlendirilmemiş plak modeli gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Güçlendirilmemiş Plak Eleman

3.2.2.2.1.1 Güçlendirilmiş Plak Elemanın ANSYS Kullanılarak Modellenmesi

Çok sayıda güçlendirilmiş plak eleman dinamik yüklerden dolayı meydana gelebilecek titreşime karşı koyacak şekilde dizayn edilmektedir. Bu konuda literatürde yapılan son araştırmalarda yüksek performanslı bilgisayarların da yardımıyla, plak eleman ve güçlendiriciler ayrı ayrı ele alınmıştır. Sonlu elemanlar ve sonlu farklar yöntemleri gibi sayısal metodlar bu tür problemlerin çözümünde sıklıkla kullanılmaktadır (Mukherjee ve Mukhopadhyay,1986).

Güçlendirilmiş plakların tasarımında farklı yöntemler bulunmakla beraber ortotropik model olarak bilinen ve plak eleman ile güçlendiricinin sabit kalınlıkta tek bir eleman olarak kabulüne dayanan model geçmiş çalışmalarda da sıklıkla kullanılmıştır. Güçlendirilmiş plakların tasarımı ilgili problemin çözümüne doğrudan etki ettiğinden dolayı elemana ait parametrelerin doğru bir şekilde optimize edilmesi

gerekmektedir. Özellikle bu tür yapı elemanlarında ortaya çıkabilecek stabilite problemleri ilerleyen mühendislik programlarıyla paralel olarak daha detaylı bir biçimde incelenebilmiştir (Schade,1940).

Bu tez çalışmasında plak elemana dik doğrultuda (y eksenini boyunca) yerleştirilecek olan güçlendiriciler yine plak eleman olarak seçilmiştir. Güçlendirici ve plak sayısı için minimum 1, maksimum 10 adet eleman düşünülmüş bu elemanlara ait minimum ve maksimum boyutlar üzerinde bir dizi analizler gerçekleştirilerek bu elemanların doğal frekansları hesap edilmiştir.

3.2.3 Serbest Titreşim Analiz Yöntemi

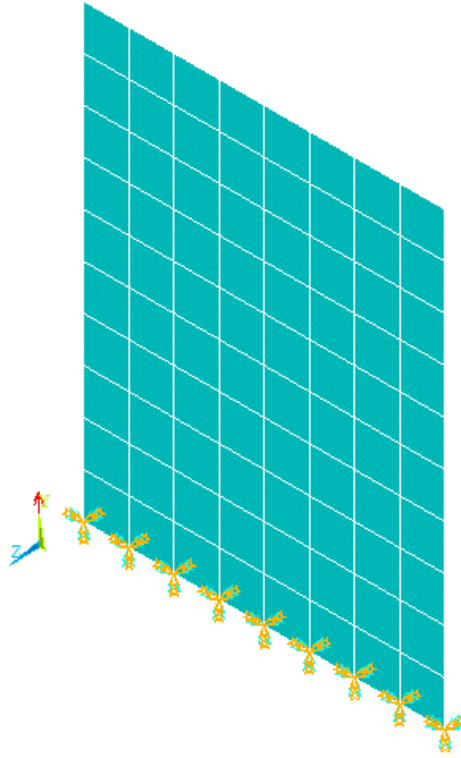
ANSYS mod çıkarma ile ilgili olarak bünyesinde altı adet yöntem sunmaktadır. Bunlar Block Lanczos, PCG Lanczos, Unsymetric, Damped, QR Damped ve Supernode. Bu tez çalışmasında Block Lanczos Yönteminden faydalanılmıştır. Lanczos metodu genellikle geniş ve aralıklı simetrik öz değer problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Tek vektörlü Lanczos yönteminin herhangi bir çoklu öz değer probleminin yalnızca bir kopyasını bulmada kullanıldığı iyi bilinmektedir.

Çoklu öz değer problemlerinin bütün ya da birkaç kopyasını hesaplamada, kümelenmiş öz değerleri hesaplamak olarak da bilinen ve tekli Lanczos yönteminden çok daha hızlı olan Block Lanczos yöntemi kullanılmaktadır. Bir çok örneği olmakla birlikte Golub ve Underwood (1977), yakın dönemde de Ye (1994), Block Lanczos yöntemini uyarlayarak kullanmışlardır. Bu tez çalışmasında plak elemanın serbest titreşim analizi için Block Lanczos yöntemi kullanılmıştır.

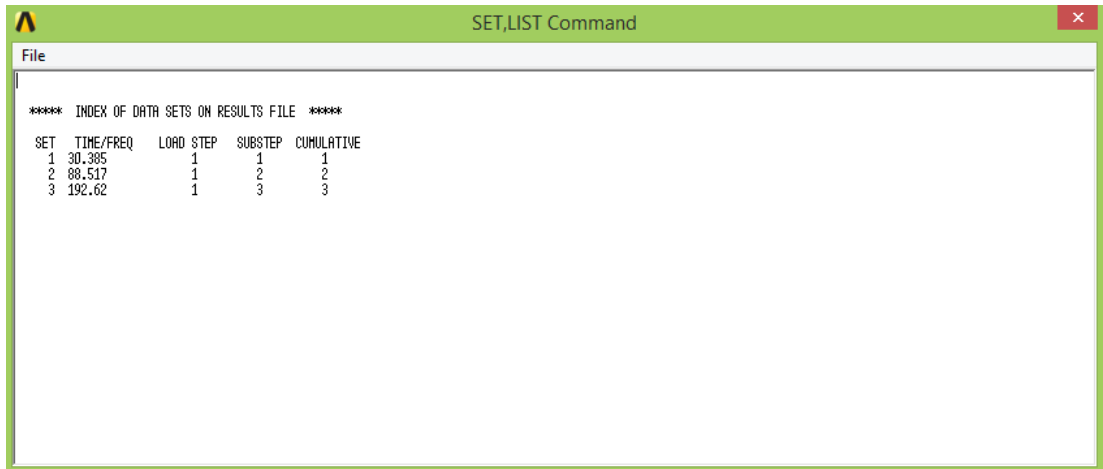
3.2.4 Serbest Titreşim Analiz Doğrulama Uygulama Örneği: Konsol Plak Uygulaması

Yapıların doğal frekanslarını hesap etmede sonlu elemanlar metodu en sık rastlanan yöntemdir. Song (1986), konsol bir plak elemanın doğal frekansını ANSYS sonlu elemanlar programında hesaplamış ve sonuçları deneysel sonuçlarla kıyaslamıştır. İlgili çalışmaya ait sonlu eleman modeli Şekil 3.3'de ve doğal frekans değerleri de Şekil 3.4'de gösterilmiştir.

1

U
ROT
ACEL

Şekil 3.3 Konsol Plak Eleman ,Song (1986)



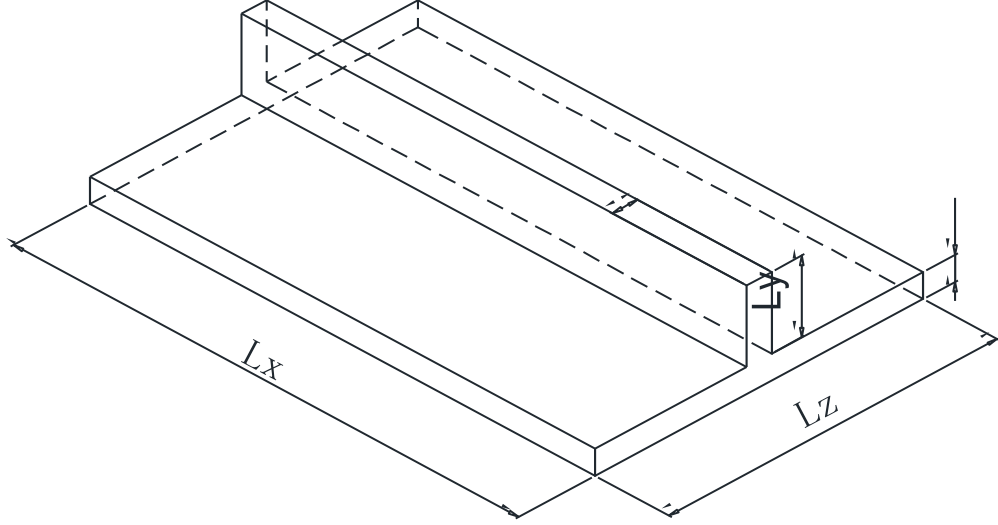
```
File
**** INDEX OF DATA SETS ON RESULTS FILE ****
SET   TIME/FREQ   LOAD STEP   SUBSTEP   CUMULATIVE
1     30.385       1           1         1
2     88.517       1           2         2
3     192.62      1           3         3
```

Şekil 3.4 Konsol Plak Eleman doğal frekans değerleri, Song (1986)

3.2.5 Serbest Titreşim Yapan GPE'nin ANSYS ile Modelleme Örneği

Bu tez çalışmasında amaçlanan GPE modeli, plak kalınlığı (t_p), güçlendirici plak kalınlığı (t_w), plak eleman boyutları (L_x , L_y , L_z) ve güçlendirici sayısı (OfsetNum) isimli parametrelere bağlı olarak oluşturulmuştur. Ayrıca, bu parametreler alt ve üst sınırlar ile tanımlanmıştır. Bu bölümde GPE elemanı için

yalnızca minimum ve maksimum boyutlardaki elemanlara ait modeller gösterilecektir. Modellere ait boyutsal parametreler Şekil 3.5’deki gibidir.



Şekil 3.5 Güçlendirilmiş plak eleman geometrisi ve boyut parametreleri

Çizelge 3.3 Güçlendirilmiş plak elemana ait minimum ve maksimum değerler

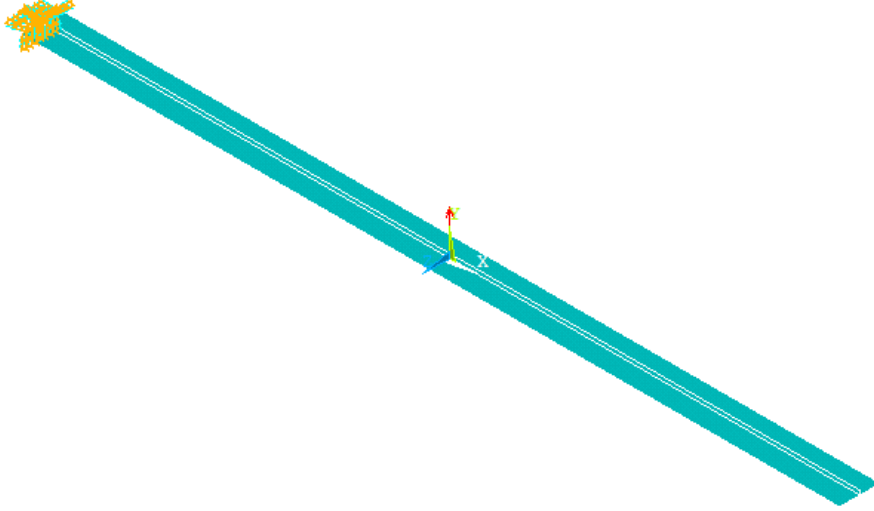
Parametre	Minimum değer	Maksimum değer
L_x	1 m	2 m
L_y	0,01 m	0,1 m
L_z	0,1 m	0,5 m
tw	0,001 m	0,001 m
tp	0,001 m	0,001 m
OfsetNum	1	10

Minimum ve maksimum boyutlara göre oluşturulmuş GPE modelleri Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’deki gibidir.

1

ANSYS
R14.5

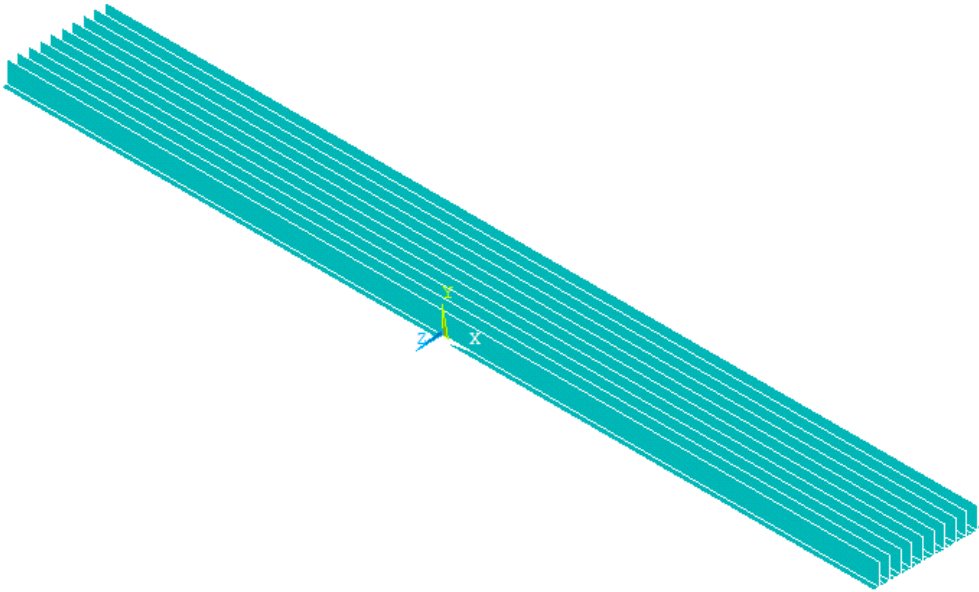
U
ROT
ACEL



Şekil 3.6 Minimum Boyutlarda Güçlendirilmiş Plak Eleman

1

ANSYS
R14.5



Şekil 3.7 Maksimum Boyutlarda Güçlendirilmiş Plak Elem

3.2.6 Güçlendirilmiş Plak Elemanın Boyutlarının İlişkilendirilmesinde Kullanılan İstatistiksel Analiz Yöntemi

Güçlendirilmiş plak elemanın boyutlarının ilişkilendirilebilmesi için Lineer regresyon analizinden faydalanılmıştır. İlgili analizlere ait regresyon modellerinin oluşturulmasında MATLAB programından faydalanılmıştır.

Lineer regresyon modeli düz regresyon doğrusunu elde edebilmek için gereken en uygun verilerin kullanımı esasına dayanmaktadır. Verilen bağımsız değişkenlerin, bağımlı değişkenle ilişkili bir tahmin denklemi oluşturularak ilgili doğru elde edilir. Doğrunun y-ekseninden başlangıç noktası ve elde edilen doğrunun eğimi tahmin denkleminin katsayılarını vermektedir. Çoklu bir lineer regresyon modelinde ise en az iki bağımsız değişken kullanılarak karmaşık yapıdaki problemlerin analizi yapılmaktadır. Çoklu lineer regresyon modelinde regresyon katsayılarının tespiti için en küçük kareler yöntemi kullanılmaktadır. Bu tür problemlerin analizinde ilgili probleme ait matrislerin oluşturulması için program bünyesinde bazı komutlar yer almaktadır (Brown,2009).

Güçlendirilmiş plak elemanın doğal frekansı üzerinde hangi parametre veya parametrelerin nasıl etki yaptığını görebilmek için tez çalışmasında MATLAB programı kullanılarak, bir lineer regresyon modeli oluşturulmuştur. Bunun için öncelikle ANSYS sonlu elemanlar programında güçlendirilmiş bir plak eleman modeli oluşturulmuş, daha sonra plak elemanın serbest titreşmesi sağlanarak sistemin doğal frekans değerleri elde edilmiştir. Elde edilen doğal frekans değerleri, MATLAB programında ANSYS programının çıktıları şeklinde okutularak her defasında modele ait 6 adet boyutsal parametrenin 6 farklı durumu için teker teker lineer regresyon modelleri oluşturulmuştur. Elde edilen regresyon modelinde, en güvenilir regresyon eğrisinin elde edilebilmesi için tahmini regresyon denklemi gerektiği durumlarda polinomun derecesi artırılarak oluşturulmuş, regresyon modelinin doğruluğu determinasyon katsayısı (R^2) ve F-İstatistiği değerleriyle kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlar ve bağımsız değişkenlere ait katsayılar ile birlikte modeldeki parametrelerin doğal frekans üzerindeki etkisi grafikler yardımıyla yorumlanmıştır.

Lineer regresyon modeli oluşturulurken doğal frekans değeri “bağımlı değişken” olmak üzere; plak kalınlığı (t_p), güçlendirici plak kalınlığı (t_w), plak eleman boyutları (L_x , L_y , L_z) ve güçlendirici sayısı (OfsetNum) gibi parametreler “bağımsız değişken” olarak kullanılmıştır. Bu bağlamda MATLAB programında söz konusu bağımsız değişkenler için her biri alt ve üst sınırlar hariç rastgele değerler içeren matrisler oluşturulmuştur.

Aşağıdaki bölümde bu 6 durum teker teker incelenmiş ve farklı grafikler yardımıyla boyutsal parametrelerin plak eleman üzerindeki etkisi tartışılmıştır.

4 BULGULAR VE TARTIŞMA

Tez çalışmasında, GPE için belirli minimum ve maksimum değerleri ile sınırlandırılmış 6 adet boyutsal parametre değerlerine bağlı olarak, ANSYS programında modal analiz yapılmış ve sistemin doğal frekans değerleri elde edilmiştir. Toplamda 6 adet farklı durum kombinasyonları için regresyon denklemleri oluşturulmuş, lineer regresyon analizleri sonucu elde edilen sonuçlar F-İstatistiği değerleri ile kıyaslanarak analiz edilmiştir. Daha sonra da bu parametrelerin tekli ya da değişken çiftleri olarak sistemin doğal frekansına katkıları, bu parametrelere bağlı olarak oluşturulan grafikler yardımıyla yorumlanmıştır. MATLAB programı verilen boyutsal parametrelere en uygun ve doğru lineer regresyon modelini kendi bünyesinde yaptığı yorumlamalarla elde etmektedir.

4.1 Birinci Durum

Çizelge 4.1 Birinci durum için değişken ve sabit parametreler

Değişkenler	Sabitler
tp	tw, Lx, Ly ,Lz,Ofset Num

$$y = 1 + tpMat + tpMat^2 \quad (4.1)$$

$$y = 1 + tpMat + tpMat^2 + tpMat^3 \quad (4.2)$$

$$y = 1 + tpMat + tpMat^2 + tpMat^3 + tpMat^4 \quad (4.3)$$

$$y = 1 + tpMat + tpMat^2 + tpMat^3 + tpMat^4 \quad (4.4)$$

Birinci durumda yalnızca plak kalınlığı olan tp'nin doğal frekans üzerindeki katkısı araştırılmış, bu bağlamda önce tp ikinci dereceden bir polinom fonksiyon olarak modellenerek bir lineer regresyon tahmini denklemi oluşturulmuştur. Daha sonra bu denklemin determinasyon katsayısı(R^2)'nin değerleri üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Regresyon modelinin doğruluğunu daha iyi desteklemek amacıyla

polinom fonksiyonu önce 3'üncü daha sonra da 4'üncü dereceden olacak şekilde modellenmiş ve bu değişimin determinasyon katsayısı üzerindeki etkisi izlenmiştir. Aşağıda determinasyon katsayılarının artırılan polinom derecelerine ve oluşturulan lineer regresyon modellerine göre değişimi verilmiştir.

$R^2=$

$$0.995972089583304 \quad (4.5)$$

$$0.999897906837600$$

$$0.999997396652864$$

$$0.999997396652864$$

Adjusted $R^2=$

$$0.995955880688267 \quad (4.6)$$

$$0.999897289338634$$

$$0.999997375615715$$

$$0.999997375615715$$

No terms to add to or remove from initial model.

mdl2 =

Linear regression model:
frequency ~ 1 + tpMat + tpMat^2

Estimated Coefficients:

	Estimate	SE	tStat	pValue
(Intercept)	1660.70822824587	0.663934688602219	2501.31263926299	0
tpMat	51004.2243138135	272.274319196696	187.326606726237	0
tpMat^2	-2951973.95699884	24215.6469898009	-121.903575743492	0

Number of observations: 500, Error degrees of freedom: 497

Root Mean Squared Error: 3.28

R-squared: 0.996, Adjusted R-Squared 0.996

F-statistic vs. constant model: 6.14e+04, p-value = 0

Şekil 4.1 Birinci durumda (4.1) regresyon denkleminde ait lineer regresyon analizi

No terms to add to or remove from initial model.

mdl3 =

Linear regression model:
frequency ~ 1 + tpMat + tpMat^2 + tpMat^3

Estimated Coefficients:

	Estimate	SE	tStat	pValue
(Intercept)	1637.56569888839	0.198181935228747	8262.94130692721	0
tpMat	69314.3688663372	139.501835727488	496.870657686116	0
tpMat^2	-6798086.30483674	28115.4234859886	-241.79206506438	0
tpMat^3	233097718.050782	1687836.88030468	138.104410900599	0

Number of observations: 500, Error degrees of freedom: 496

Root Mean Squared Error: 0.523

R-squared: 1, Adjusted R-Squared 1

F-statistic vs. constant model: 1.62e+06, p-value = 0

Şekil 4.2 Birinci durumda (4.2) regresyon denkleminde ait lineer regresyon analizi

No terms to add to or remove from initial model.

mdl4 =

Linear regression model:

frequency ~ 1 + tpMat + tpMat^2 + tpMat^3 + tpMat^4

Estimated Coefficients:

	Estimate	SE	tstat	pValue
(Intercept)	1630.65224992351	0.0594151483333409	27445.0589734279	0
tpMat	77051.9919497915	60.5158767985462	1273.25250869773	0
tpMat^2	-9477519.93104955	19992.9315889414	-474.043533280121	0
tpMat^3	592372871.850561	2626065.19287021	225.574320644765	0
tpMat^4	-16330688809.0809	118734966.06142	-137.539002627357	0

Number of observations: 500, Error degrees of freedom: 495

Root Mean Squared Error: 0.0836

R-squared: 1, Adjusted R-Squared 1

F-statistic vs. constant model: 4.75e+07, p-value = 0

Şekil 4.3 Birinci durumda (4.3) regresyon denklemine ait lineer regresyon analizi

1. Removing tpMat^5, FStat = NaN, pValue = NaN

mdl5 =

Linear regression model:

frequency ~ 1 + tpMat + tpMat^2 + tpMat^3 + tpMat^4

Estimated Coefficients:

	Estimate	SE	tstat	pValue
(Intercept)	1630.65224992351	0.0594151483333409	27445.0589734279	0
tpMat	77051.9919497915	60.5158767985462	1273.25250869773	0
tpMat^2	-9477519.93104955	19992.9315889414	-474.043533280121	0
tpMat^3	592372871.850561	2626065.19287021	225.574320644765	0
tpMat^4	-16330688809.0809	118734966.06142	-137.539002627357	0

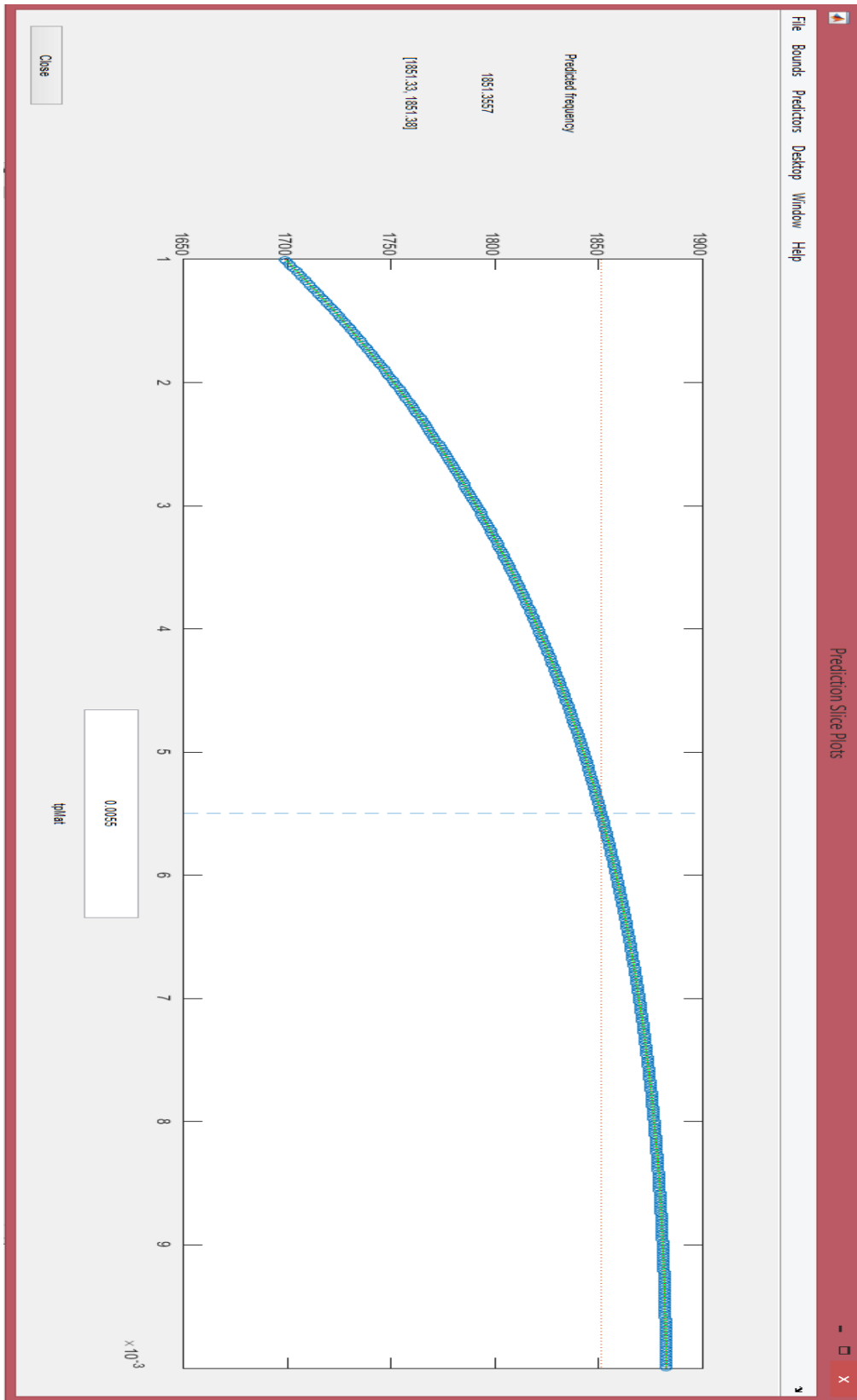
Number of observations: 500, Error degrees of freedom: 495

Root Mean Squared Error: 0.0836

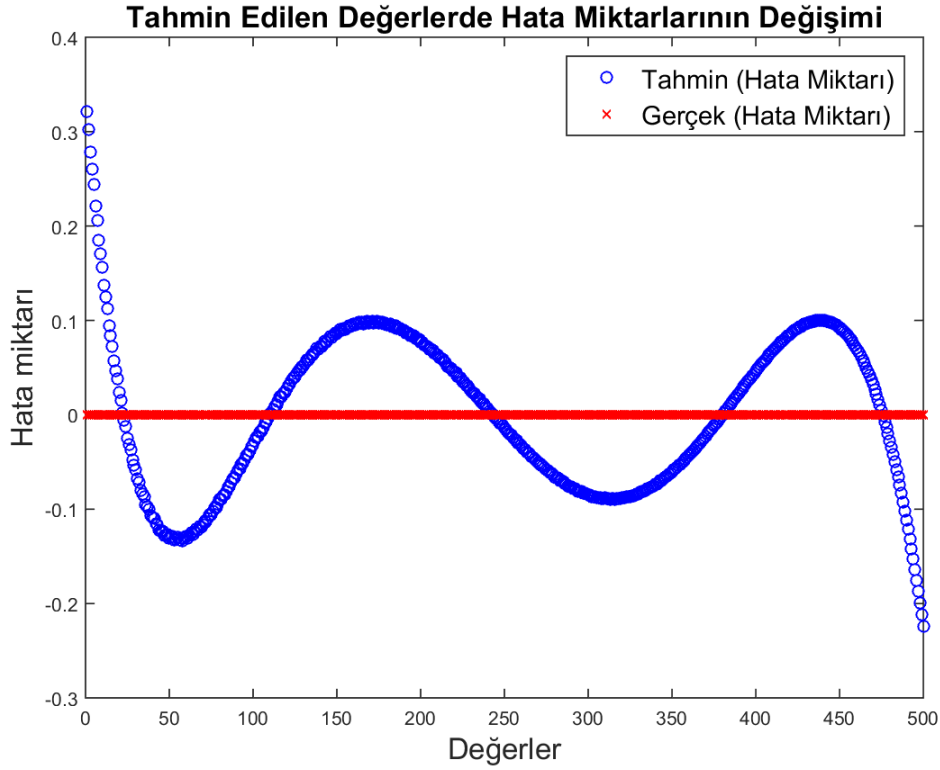
R-squared: 1, Adjusted R-Squared 1

F-statistic vs. constant model: 4.75e+07, p-value = 0

Şekil 4.4 Birinci durumda (4.4) regresyon denklemine ait lineer regresyon analizi



Şekil 4.5 Birinci durum için plak eleman kalınlığı(t_p) 'nın doğal frekansa katkısı



Şekil 4.6 Birinci durum için tahmin edilen hata miktarlarının gerçek değerlerle kıyaslanması

Yukarıda Şekil 4.5'te plak eleman kalınlığı t_p 'nin doğal frekans üzerindeki katkısı gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi plak eleman kalınlığı t_p 'nin , sistemin doğal frekansı üzerinde artırıcı katkısı bulunmaktadır.

Yukarıda Şekil 4.6'te kullanılan datalara göre tahmini hata miktarlarının, gerçek hata miktarlarına göre hangi aralıkta ne kadar farklılık gösterdiği gösterilmektedir. Grafikte başlangıçtaki hata miktarının değişen parametrelere bağlı olarak azaldığı görülmektedir.

4.2 İkinci Durum

Çizelge 4.2 İkinci durum için değişken ve sabit parametreler

Değişkenler	Sabitler
t_p, t_w	$L_x, L_y, L_z, \text{Ofset Num}$

$$y=1+twMat^2+twMat*tpMat+tpMat^2 \quad (4.7)$$

$$y=1+twMat^2+twMat*tpMat+tpMat^2+twMat^3+(twMat^2):tpMat+twMat:(tpMat^2)+tpMat^3 \quad (4.8)$$

$$y=1+twMat^2+twMat*tpMat+tpMat^2+twMat^3+(twMat^2):tpMat+twMat:(tpMat^2)+tpMat^3 + twMat^4 + (twMat^3):tpMat + twMat:(tpMat^3)+tpMat^4 \quad (4.9)$$

$$y=1+twMat^2+twMat*tpMat+tpMat^2+twMat^3+(twMat^2):tpMat+twMat:(tpMat^2)+tpMat^3+twMat^4+(twMat^3):tpMat+twMat:(tpMat^3)+ tpMat^4 \quad (4.10)$$

İkinci durumda plak kalınlığı tp ve güçlendirici plak kalınlığı tw 'nin doğal frekans üzerindeki ikili katkıları araştırılmıştır. Buradan hareketle önce tp ve tw'ya bağlı bir (4.7) numaralı denklem oluşturulup bir lineer regresyon analizi yapılmış daha sonra bu iki bağımsız değişkenin polinom dereceleri artırılarak sırasıyla (4.8), (4.9), (4.10) numaralı regresyon denklemleri oluşturularak regresyon analizleri sonuçları irdelenmiştir. Regresyon analizine ait determinasyon katsayılarındaki değişim sırasıyla aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$R^2= \quad 0.834720459414039 \quad (4.11)$$

$$0.957257813611790$$

$$0.982687283389638$$

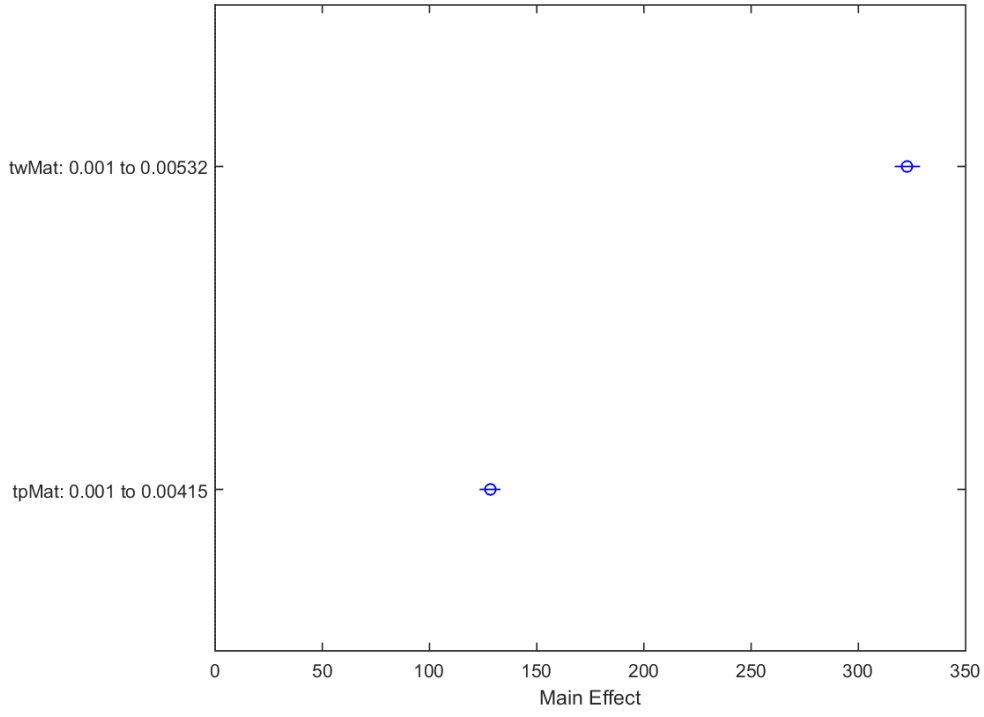
$$0.982687283389638$$

$$\text{Adjusted } R^2= \quad 0.833047589570051 \quad (4.12)$$

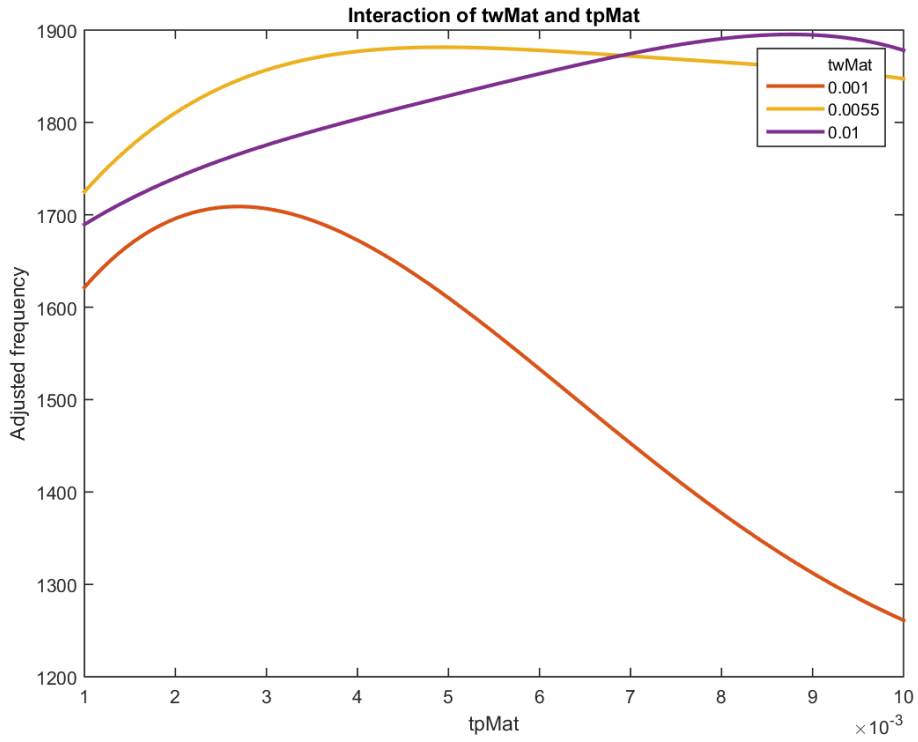
$$0.956472753045476$$

$$0.982224186031747$$

$$0.982224186031747$$



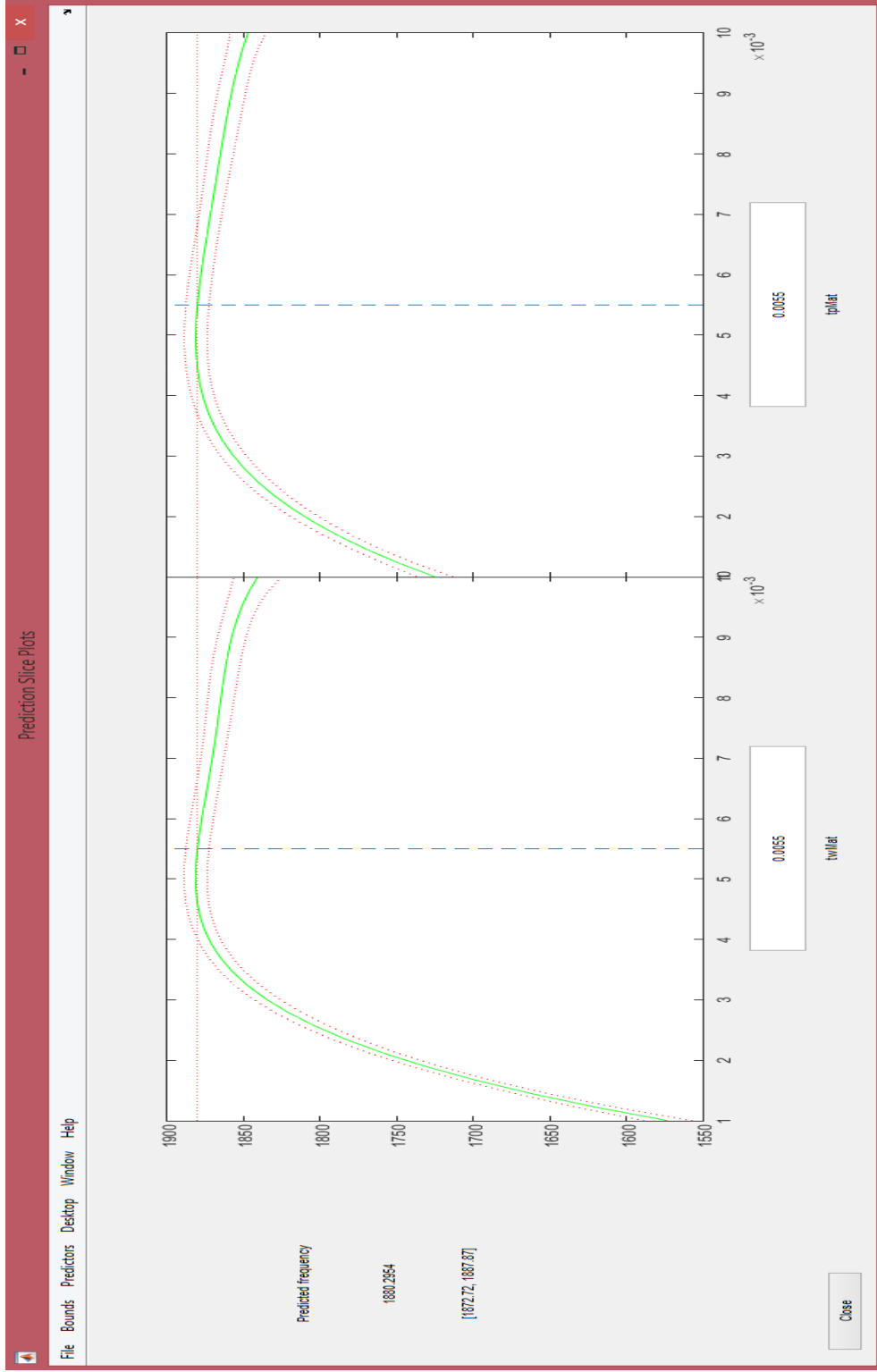
Şekil 4.7 Plak kalınlığı (tp) ve güçlendirici kalınlığı (tw)'nın doğal frekansa olan katkısı



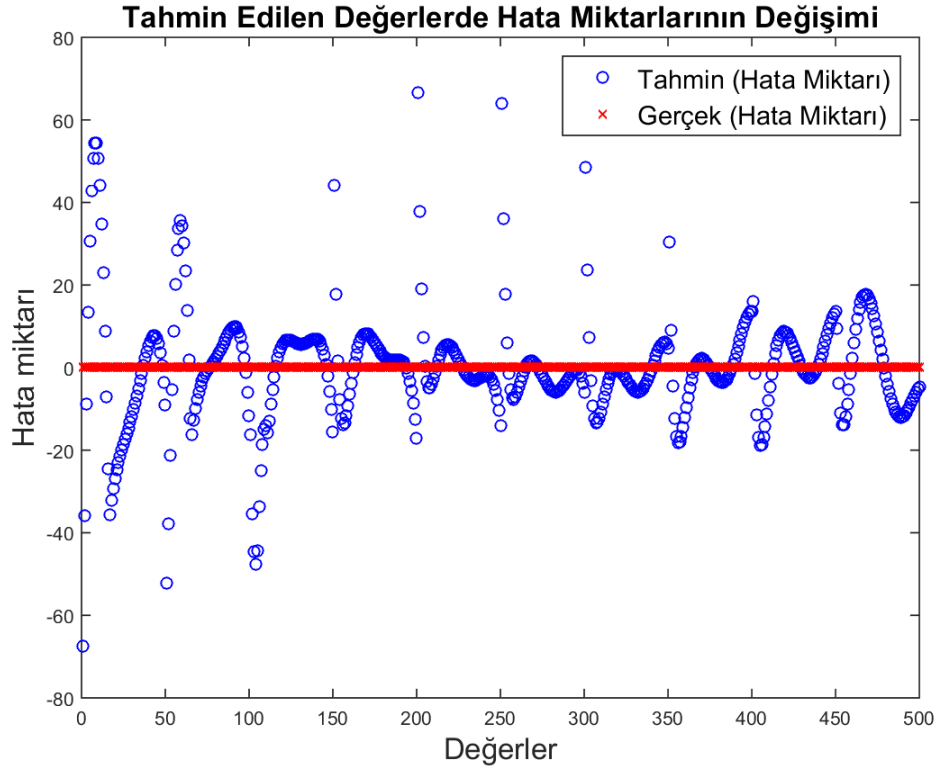
Şekil 4.8 Plak kalınlığı (tp) ve güçlendirici kalınlığı (tw) arasındaki ilişki

Şekil 4.7’de plak kalınlığı t_p ve güçlendirici eleman kalınlığı t_w ’nun sistemin doğal frekansı üzerindeki ikili katkısı araştırılmıştır. Modelde kullanılan t_p ve t_w ’nin analizdeki değişim aralıkları şekilde görüldüğü gibidir. Şekilden de anlaşılacağı gibi güçlendirici kalınlığı t_w ’nin plak kalınlığı t_p ’ye göre sistemin doğal frekansı üzerinde daha fazla katkısı sağladığı görülmektedir.

Şekil 4.8’de ise bu iki parametrenin birbirleriyle olan ilişkisi verilmiştir. t_p ve t_w ’nun birbirleriyle genellikle doğru orantılı davranış gösterdiği gözlemlenmiş ancak belirli bir kritik değerden sonra bu iki parametrenin bazı aralıklarda birbirleriyle ters orantılı olarak katkı sağladığı görülmektedir.



Şekil 4.9 Plak kalınlığı (tp) ve güçlendirici kalınlığı (tw)'nın doğal frekans üzerindeki etkisi



Şekil 4.10 İkinci durum için tahmin edilen hata miktarlarının gerçek değerlerle kıyaslanması

Şekil 4.9’de plak kalınlığı (t_p) ve güçlendirici kalınlığı (t_w)’nın doğal frekans üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi bu iki parametrenin doğal frekans değeri üzerinde pozitif yönde bir katkı gösterdiği gözlemlenmiştir. Ancak kritik bir değerden sonra (t_p için $3-5 \times 10^{-3}$ ve t_w için $4-5 \times 10^{-3}$) bu iki boyutsal parametrenin doğal frekansı azalttığı gözlemlenmiştir. Yine de parametre sayısının artırılması mevcut grafikteki değişimin daha geniş bir perspektifte değerlendirilebilmesi için elzem bir durumdur. Bu çalışmadaki parametre sayısına bağlı olarak elde edilen grafikte bu iki bağımsız değişkenin sistemin frekansını belirli bir değere kadar düzenli olarak artırdığı ancak kritik bir değerden sonra bu artışın devam etmediği gözlemlenmiştir.

Şekil 4.10’da elde edilen verilere bağlı olarak ikinci durum için kurulan lineer regresyon modeline ait hata miktarları gösterilmiştir. Hata miktarlarında başlangıçta gerçek hata miktarına göre büyük farklılıklar olmasına rağmen modele ait polinom fonksiyon derecesinin belirli bir kombinasyon ile artırılması ile bu hataların giderek azaldığı görülmüştür.

4.3 Üçüncü Durum

Çizelge 4.3 Üçüncü durum için değişken ve sabit parametreler

Değişkenler	Sabitler
tp, tw, Ly	Lx ,Lz,Ofset Num

$$y=1+twMat^2+LyMat*tpMat + twMat*tpMat + tpMat^2 \quad (4.13)$$

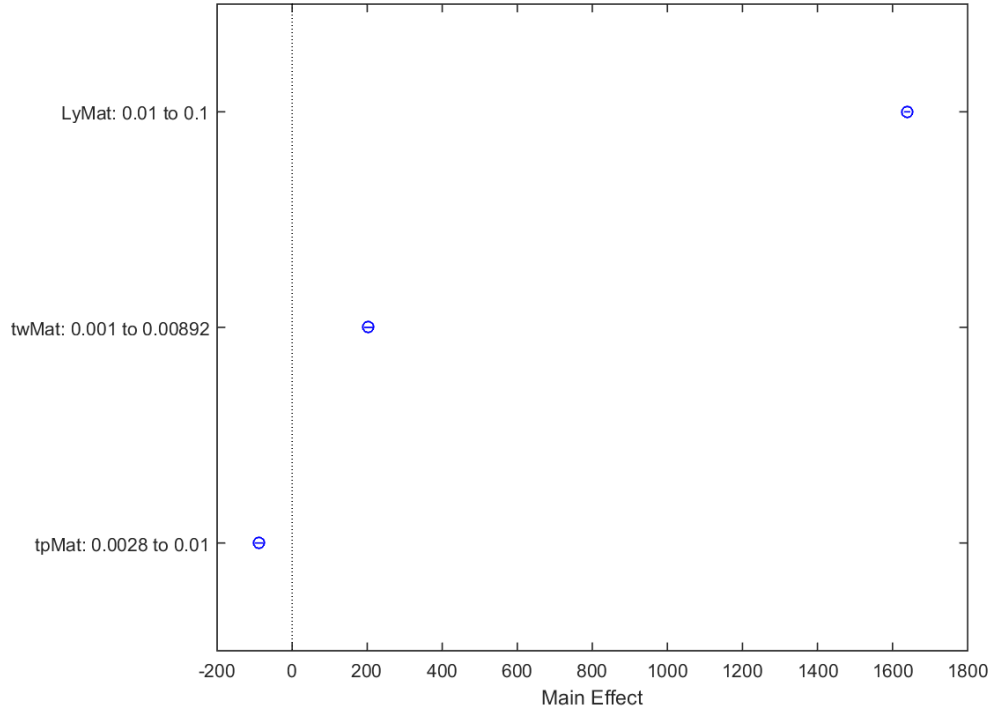
$$y=1+LyMat^2+LyMat*twMat+twMat^2+LyMat*tpMat+twMat*tpMat+tpMat^2+LyMat^3+(LyMat^2):twMat+LyMat:(twMat^2)+twMat^3+(LyMat^2):tpMat+LyMat:twMat:tpMat+(twMat^2):tpMat+LyMat:(tpMat^2)+twMat:(tpMat^2)+tpMat^3 \quad (4.14)$$

$$y=1+LyMat^2+LyMat*twMat+twMat^2+LyMat*tpMat+twMat*tpMat+tpMat^2+LyMat^3+(LyMat^2):twMat+LyMat:(twMat^2)+twMat^3+(LyMat^2):tpMat+LyMat:twMat:tpMat+(twMat^2):tpMat+LyMat:(tpMat^2)+twMat:(tpMat^2)+tpMat^3+LyMat^4+(LyMat^3):twMat+(LyMat^2):(twMat^2)+LyMat:(twMat^3)+twMat^4+(LyMat^3):tpMat+(LyMat^2):twMat:tpMat+LyMat:(twMat^2):tpMat+(twMat^3):tpMat+LyMat:twMat:(tpMat^2)+(twMat^2):(tpMat^2)+LyMat:(tpMat^3) tpMat^4 \quad (4.15)$$

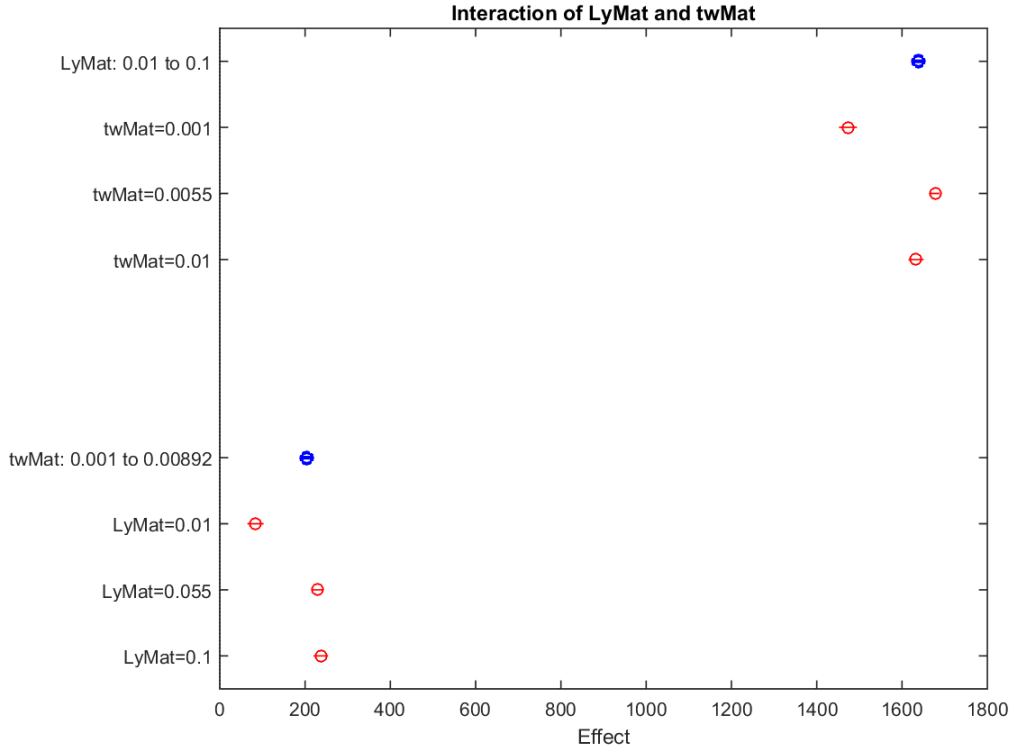
Üçüncü durumda güçlendirici eleman yüksekliği (Ly), plak kalınlığı (tp), güçlendirici kalınlığı (tw)'nın doğal frekans üzerindeki katkısı irdelenmiştir. Öncelikle bu üç bağımsız değişken kullanılarak tıpkı diğer regresyon modellerinde olduğu gibi bir regresyon denklemi oluşturulmuş, ilgili modele ait analizler yapılarak analiz sonuçları irdelenmiştir. Daha sonar (4.14) ve (4.15) numaralı regresyon denklemleri yine polinom derecesi artırma yoluyla oluşturularak determinasyon katsayısındaki değişim gözlemlenmiştir. Determinasyon katsayısını oluşturan modellere ait değişim aşağıdaki gibidir.

$$R^2 = \begin{matrix} 0.994105887429708 \\ 0.997979014268333 \\ 0.999273877364300 \end{matrix} \quad (4.16)$$

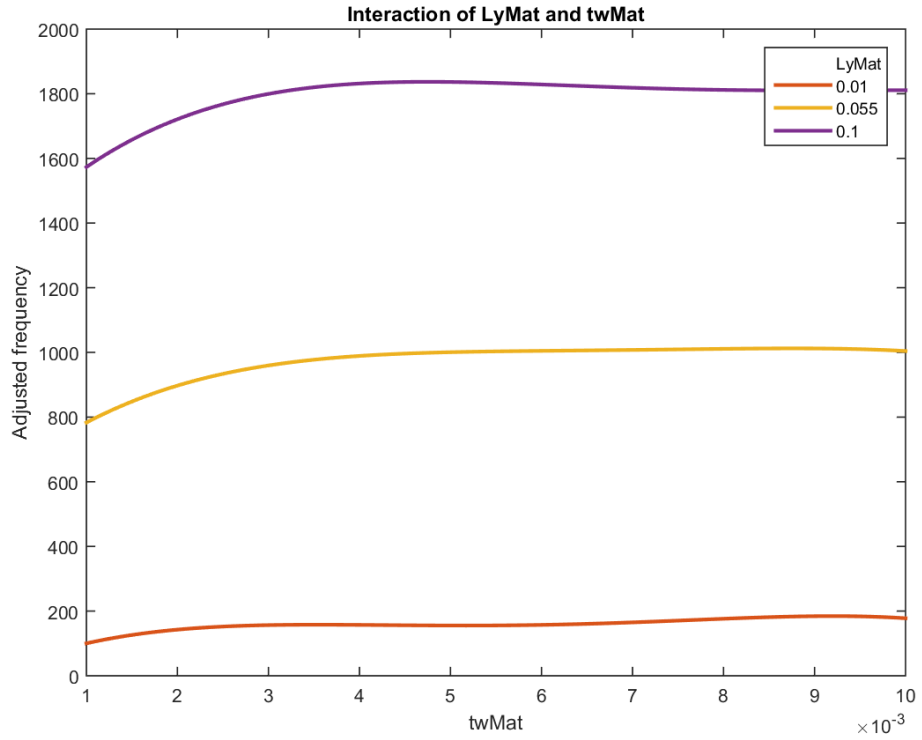
$$\text{Adjusted } R^2 = \begin{matrix} 0.993990316594997 \\ 0.997867713604850 \\ 0.999203889640377 \end{matrix} \quad (4.17)$$



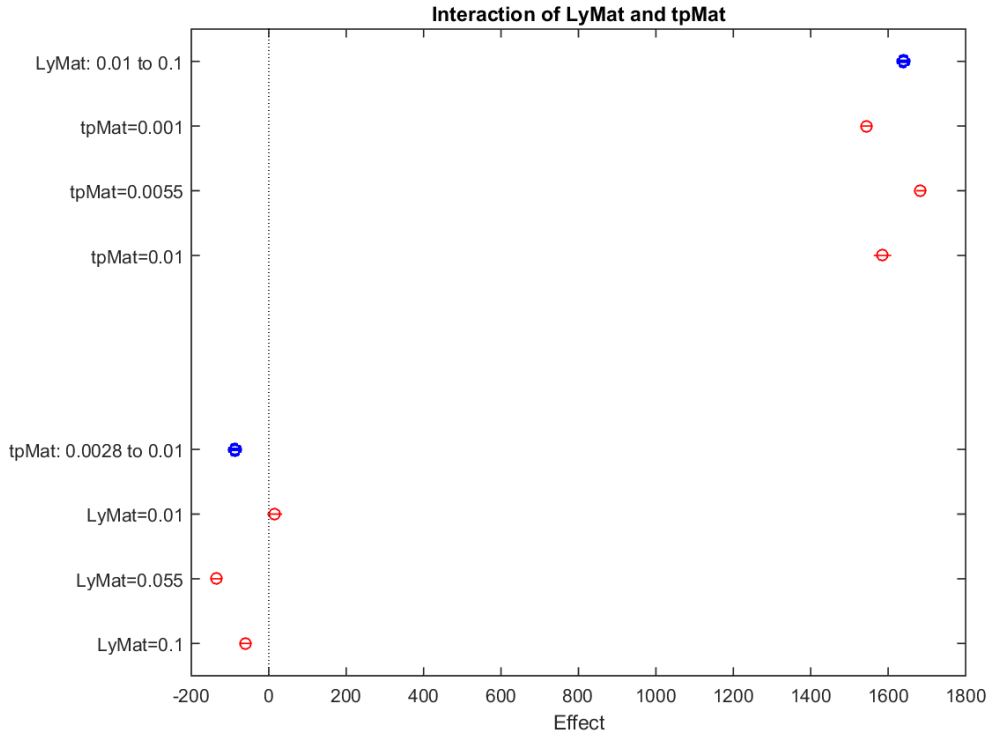
Şekil 4.11 Plak kalınlığı (tp) ve güçlendirici kalınlığı (tw) ve güçlendirici yüksekliği (Ly)'nin doğal frekans üzerindeki etkisi



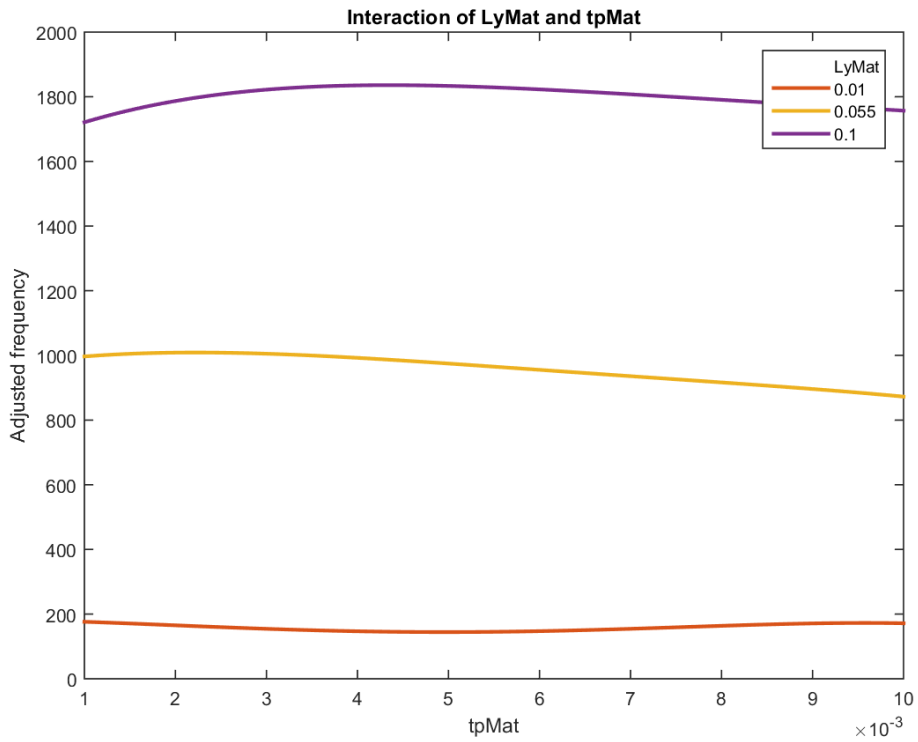
Şekil 4.12 Güçlendirici kalınlığı (tw) ve güçlendirici plak yüksekliği (Ly)'nin doğal frekans değerine katkısı



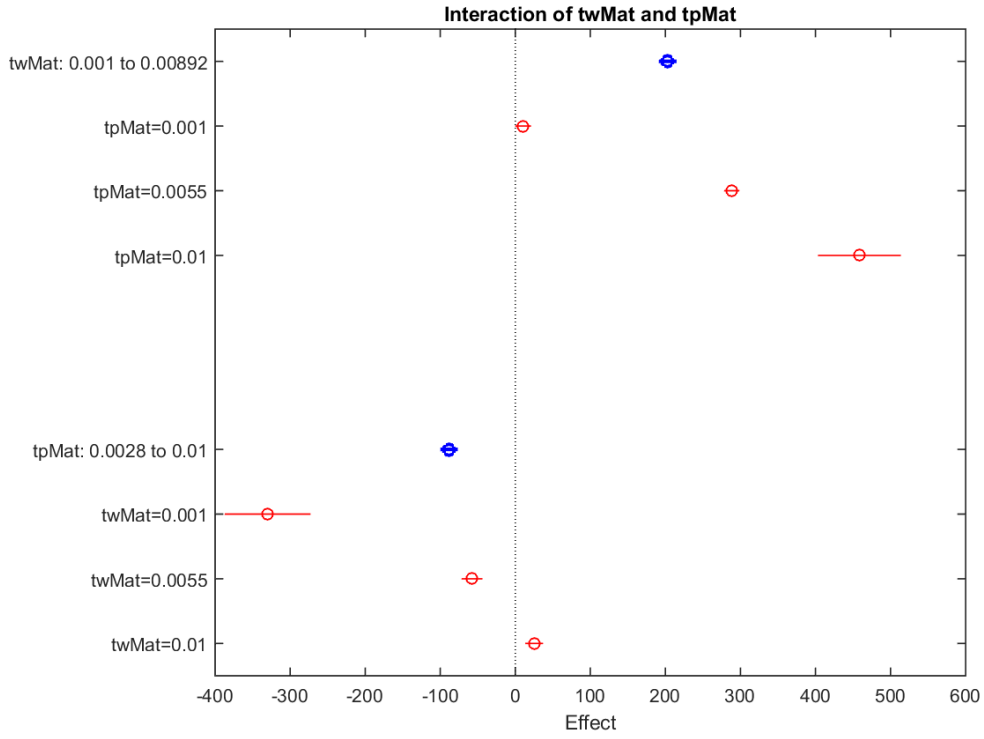
Şekil 4.13 Güçlendirici kalınlığı (tw) ve güçlendirici plak yüksekliği (Ly) arasındaki ilişki



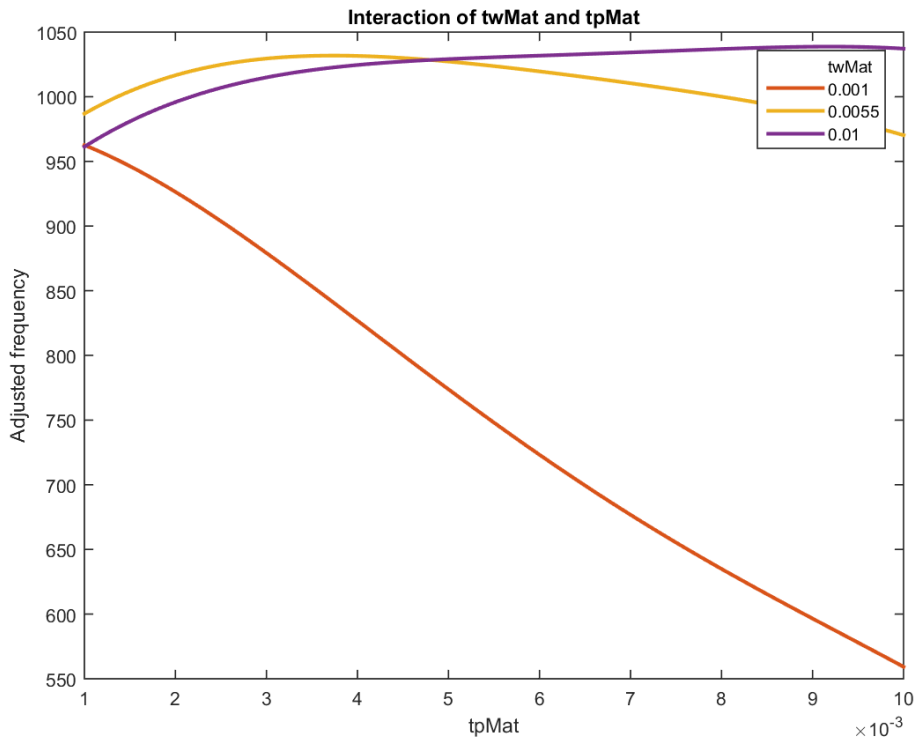
Şekil 4.14 Plak kalınlığı (tp) ve güçlendirici plak yüksekliği (Ly)'nin doğal frekansa katkısı



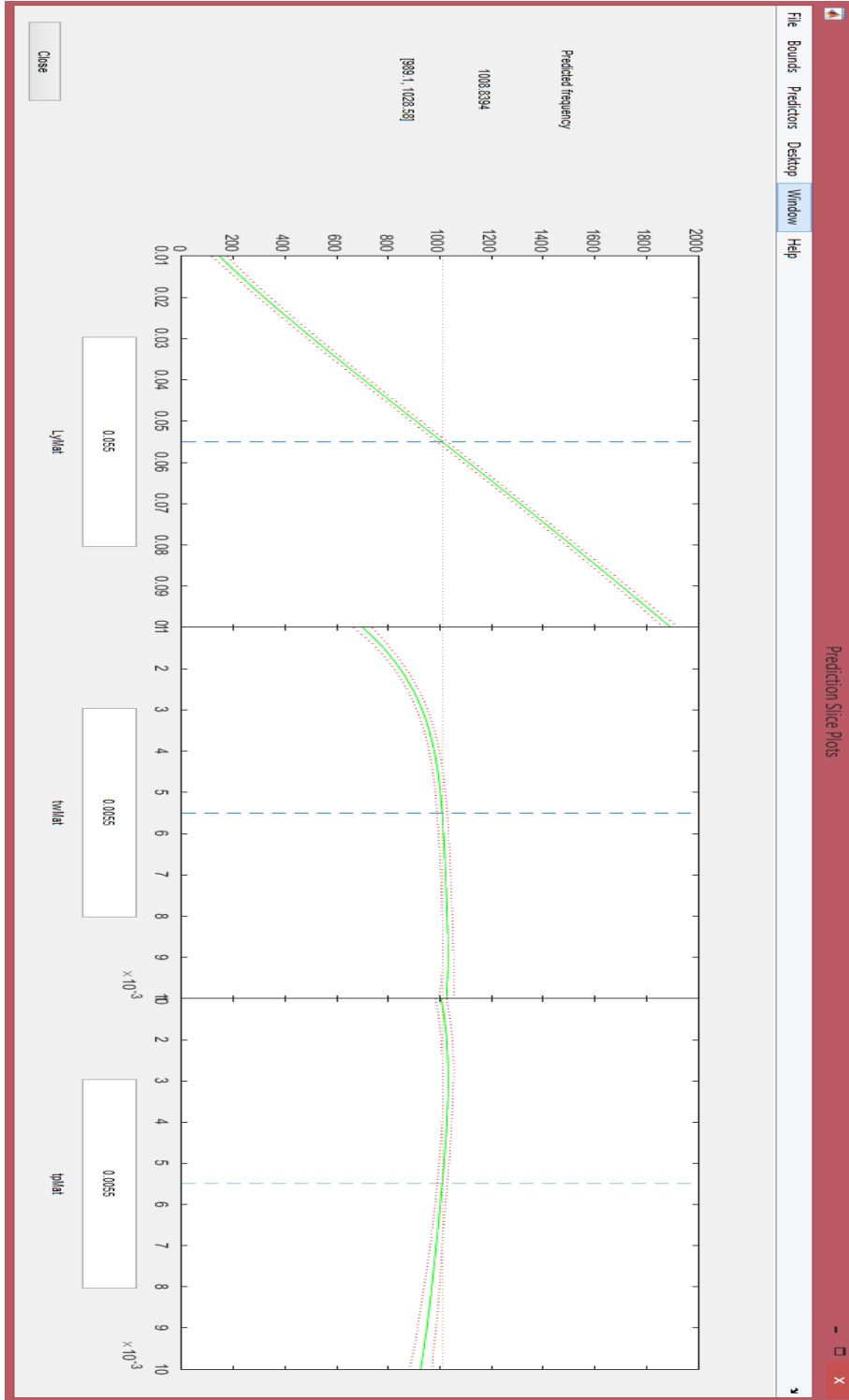
Şekil 4.15 Plak kalınlığı (tp) ve güçlendirici plak yüksekliği (Ly) arasındaki ilişki



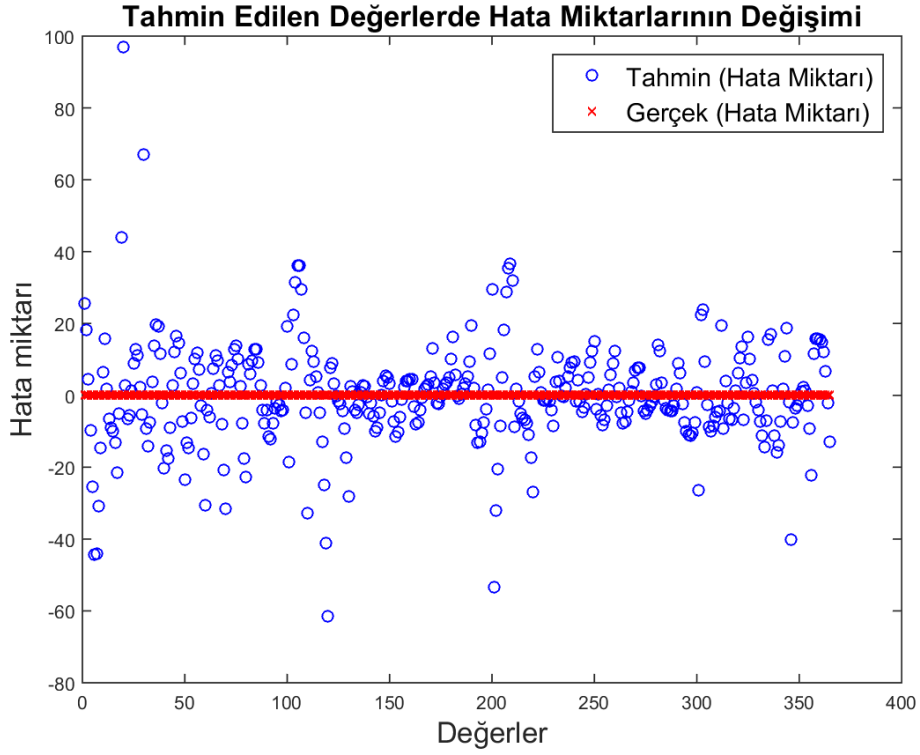
Şekil 4.16 Plak kalınlığı (tp) ve güçlendirici kalınlığı (tw)'nin doğal frekansa katkısı



Şekil 4.17 Plak kalınlığı (tp) ve güçlendirici kalınlığı (tw) arasındaki ilişki



Şekil 4.18 Plak kalınlığı (t_p) ve güçlendirici kalınlığı (t_w) ve güçlendirici plak yüksekliği (L_y)'nin doğal frekans üzerindeki katkısının tek bir grafikte gösterilmesi



Şekil 4.19 Üçüncü durum için tahmin edilen hata miktarlarının gerçek değerlerle kıyaslanması

Şekil 4.11-4.17 arasındaki grafiklerden görüleceği gibi güçlendirici eleman yüksekliği Ly 'nin plak kalınlığı (tp) ve güçlendirici kalınlığı (tw)'na nazaran doğal frekans üzerinde daha fazla katkı sağladığı görülmektedir. İlgili grafiklerde bu parametrelerin kendi aralarındaki ikili katkıları da göz önünde bulundurulduğunda yine bir önceki modellerdekine benzer özellikler göze çarpmaktadır.

Şekil 4.18'de ise tek bir grafik penceresinde bu üç boyutsal parametrenin birlikte katkısı incelendiğinde güçlendirici yüksekliği Ly 'nin plak kalınlığı tp ve güçlendirici yüksekliği tw 'ya göre doğal frekans üzerinde daha anlamlı bir katkısının bulunduğu görülmektedir. Ancak plak eleman kalınlığı tp 'nin $4-6 \times 10^{-3}$ değerleri arasında sistemin doğal frekansında azaltıcı bir etki gösterdiği gözlemlenmiştir.

Şekil 4.19'de tahmin edilen değerlerle hata miktarlarının değişimini gösteren grafikte başlangıçta hata miktarının fazla olduğu ancak değişen regresyon modelleri ile bu hata miktarlarının oldukça azaldığı görülmüştür.

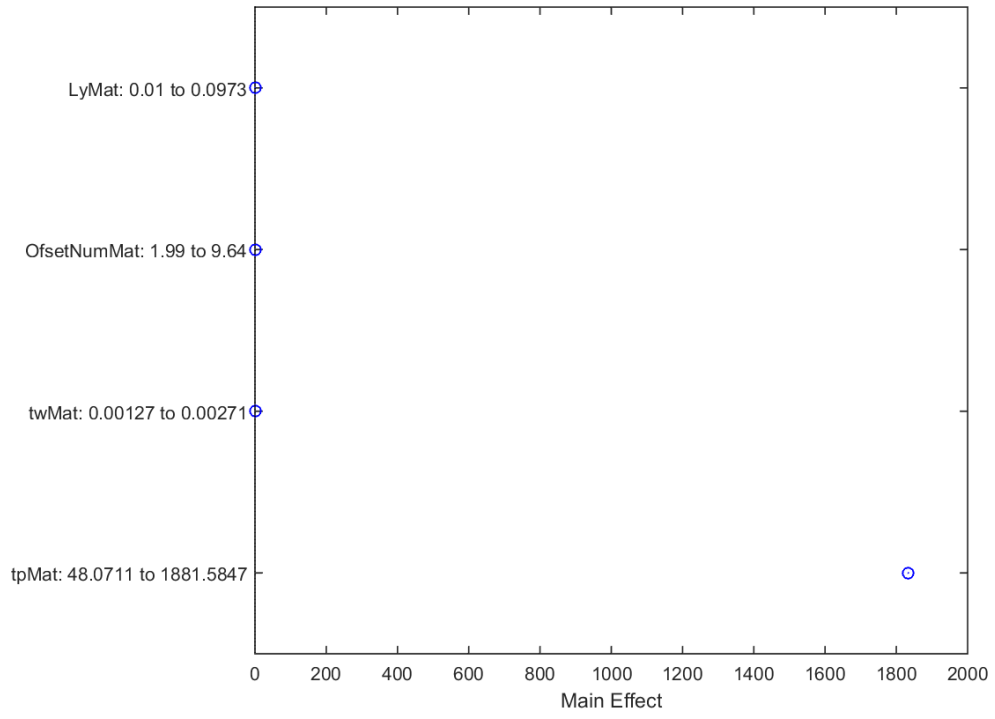
4.4 Dördüncü Durum

Çizelge 4.4 Dördüncü durum için değişken ve sabit parametreler

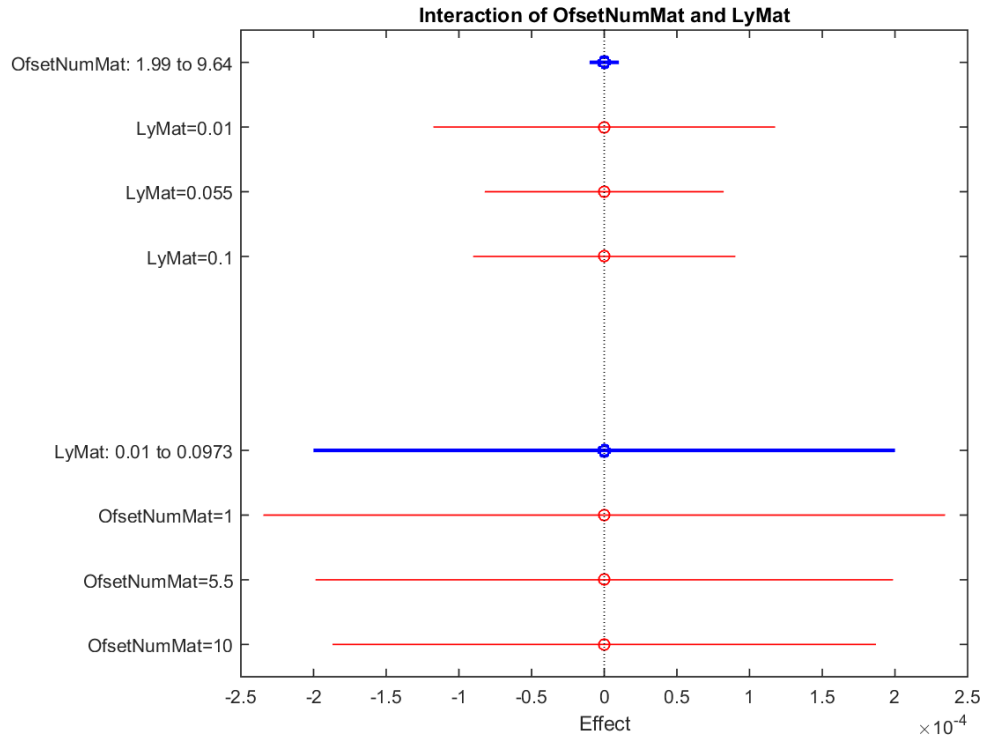
Değişkenler	Sabitler
tp, tw, Ly, OfsetNum	Lx ,Lz

$$y=1+LyMat*OfsetNumMat+LyMat*tpMat+OfsetNumMat*tpMat+twMat*tpMat+OfsetNumMat^2+tpMat^2+LyMat:OfsetNumMat:tpMat+LyMat:(tpMat^2)+(OfsetNumMat^2):tpMat+OfsetNumMat:(tpMat^2)+twMat:(tpMat^2)+OfsetNumMat^3+tpMat^3+LyMat:OfsetNumMat:(tpMat^2)+(OfsetNumMat^2):(tpMat^2)+LyMat:(tpMat^3)+(OfsetNumMat^3):tpMat+twMat:(tpMat^3)+OfsetNumMat^4 \quad (4.18)$$

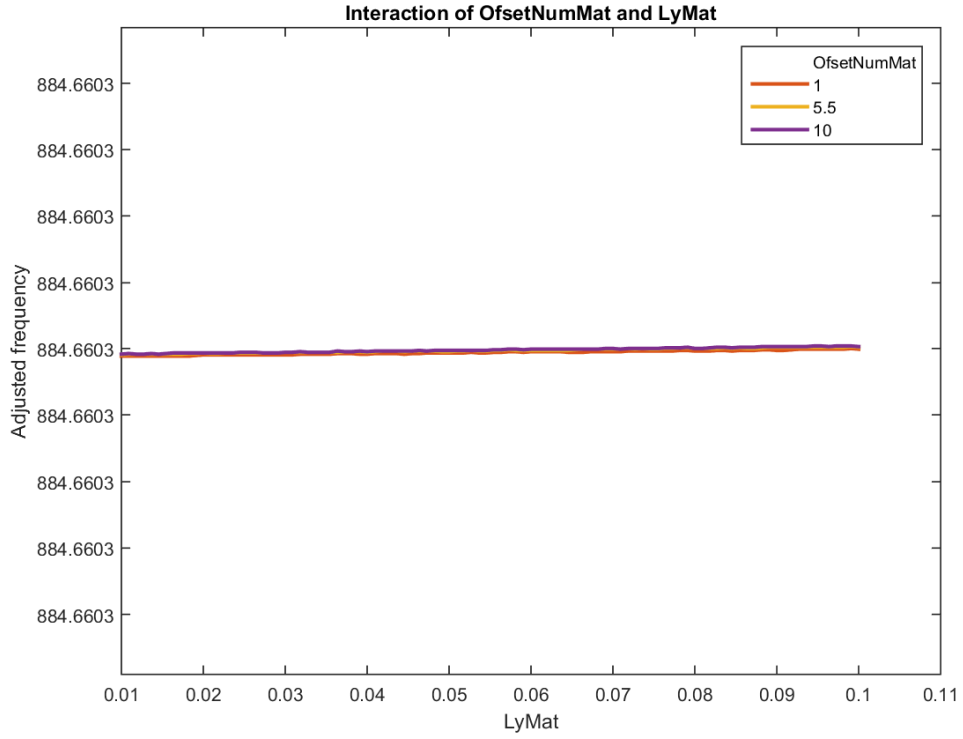
Dördüncü durumda plak kalınlığı (tp), güçlendirici plak kalınlığı (tw), güçlendirici yüksekliği (Ly) ve güçlendirici sayısı (OfsetNum)'ın doğal frekans üzerindeki katkıları araştırılmıştır. Yukarıda (4.18) numaralı denklemde bu dört parametreye bağlı 4'üncü dereceden bir polinom fonksiyon bu regresyon modeli için oluşturulmuş ve bu bağımsız değişkenlerin birbirleriyle dört işlem kombinasyonları denklemin gerçeğe en yakın sonucu verebilmesi için düzenlenmiştir.



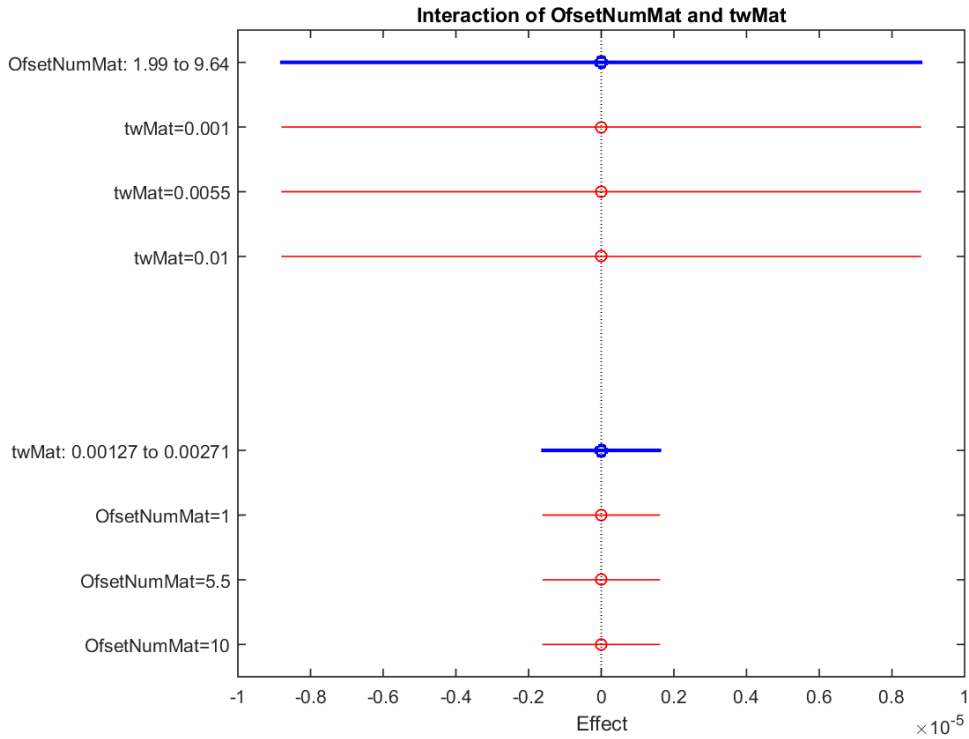
Şekil 4.20 Plak kalınlığı (tp), güçlendirici kalınlığı (tw), güçlendirici plak yüksekliği (Ly) ve güçlendirici sayısı (OfsetNum)’nın doğal frekans üzerindeki katkıları



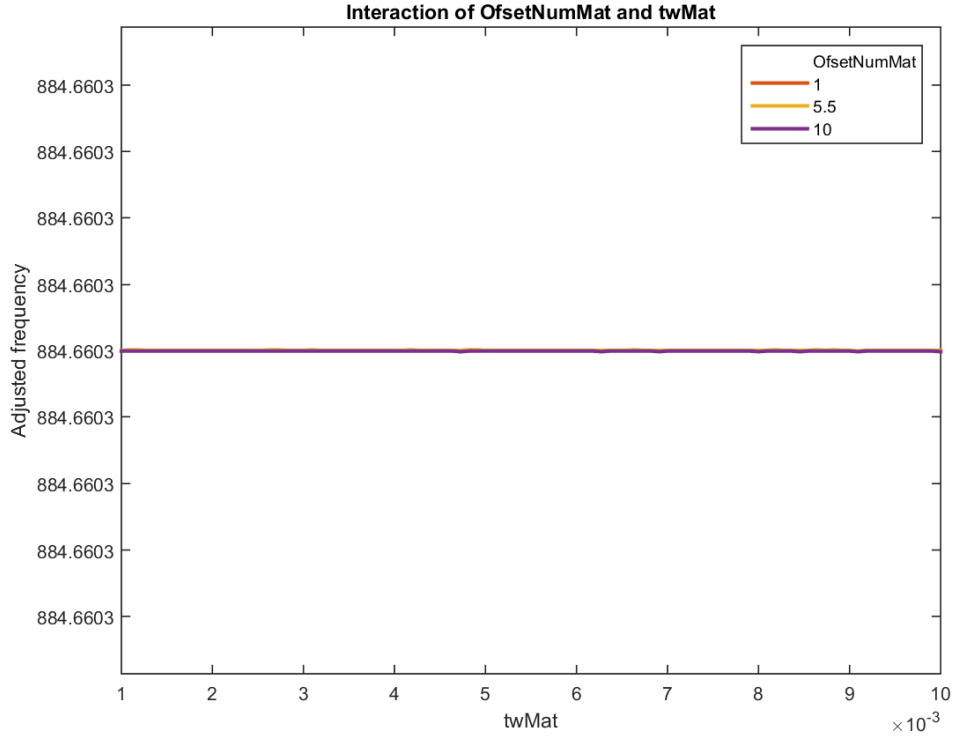
Şekil 4.21 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve güçlendirici plak yüksekliği (Ly)’nin doğal frekans üzerindeki birlikte katkıları



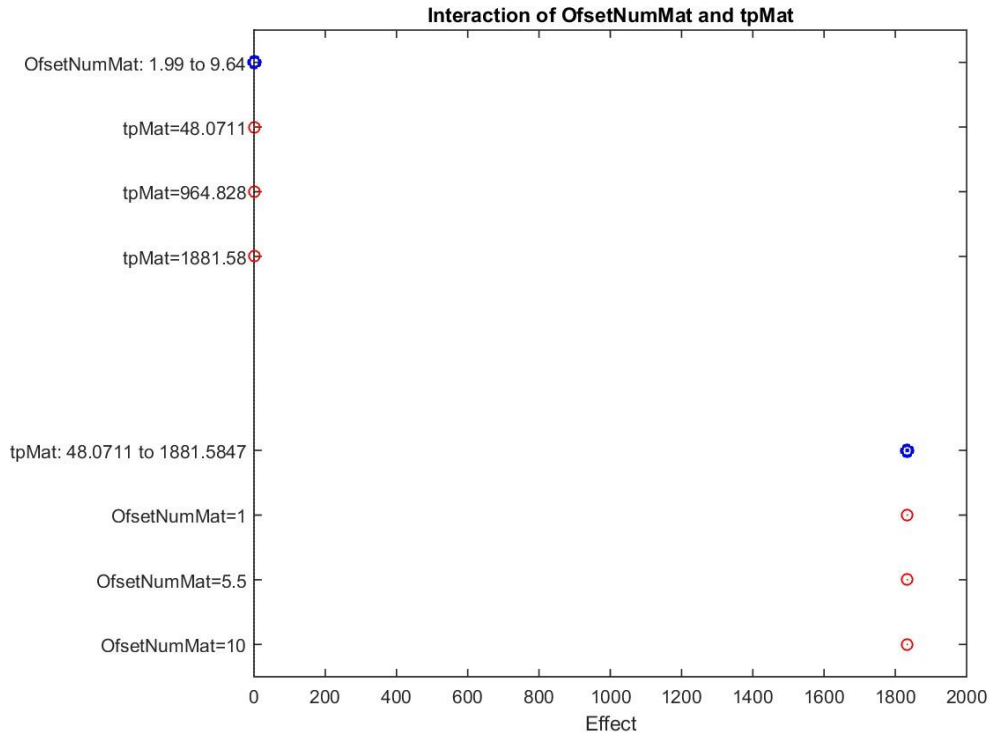
Şekil 4.22 Güçlendirici sayısı (OffsetNum) ve güçlendirici plak yüksekliği (Ly) arasındaki ilişki



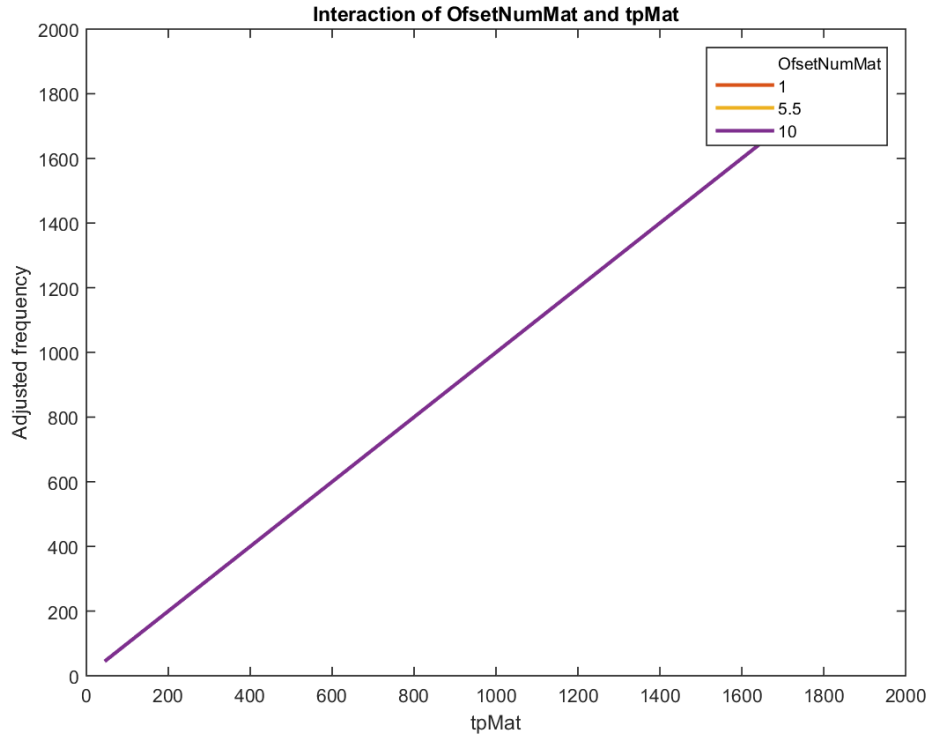
Şekil 4.23 Güçlendirici sayısı (OffsetNum) ve güçlendirici plak kalınlığı (tw)'nın doğal frekansa katkısı



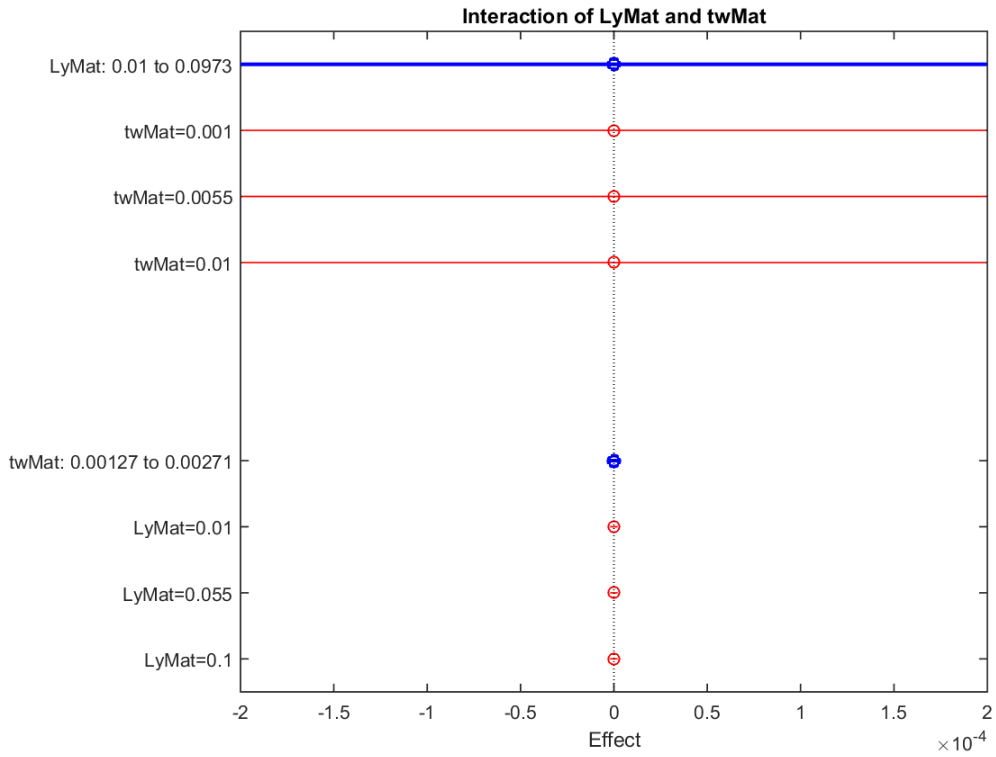
Şekil 4.24 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve güçlendirici plak kalınlığı (tw) arasındaki ilişki



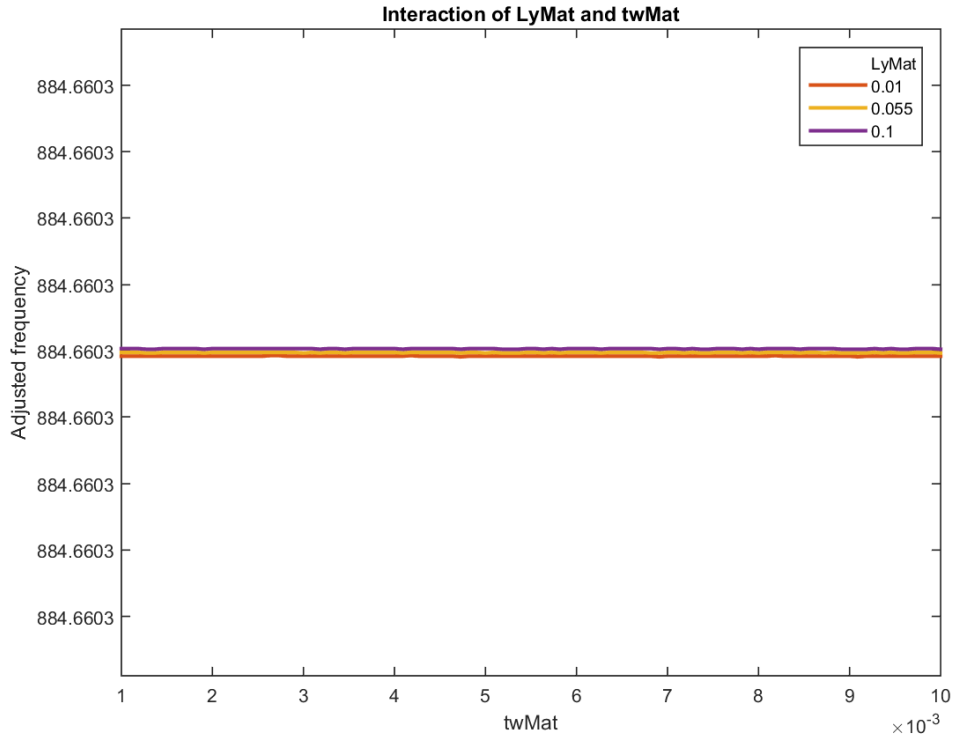
Şekil 4.25 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve plak kalınlığı (tp)'nin doğal frekansa katkısı



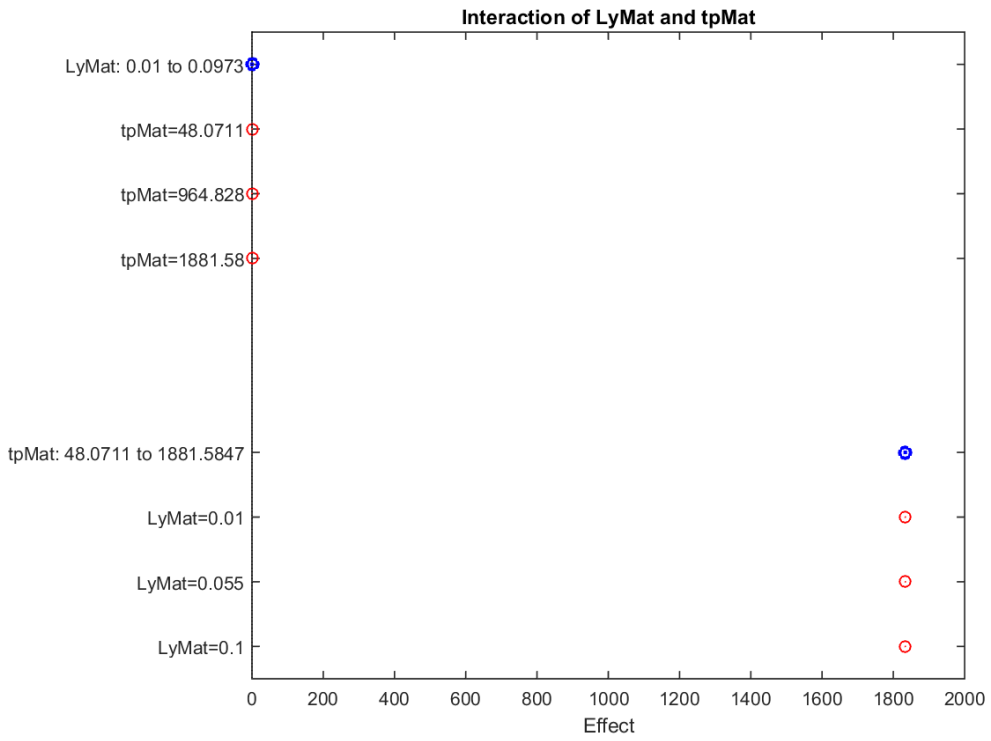
Şekil 4.26 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve plak kalınlığı (tp) arasındaki ilişki



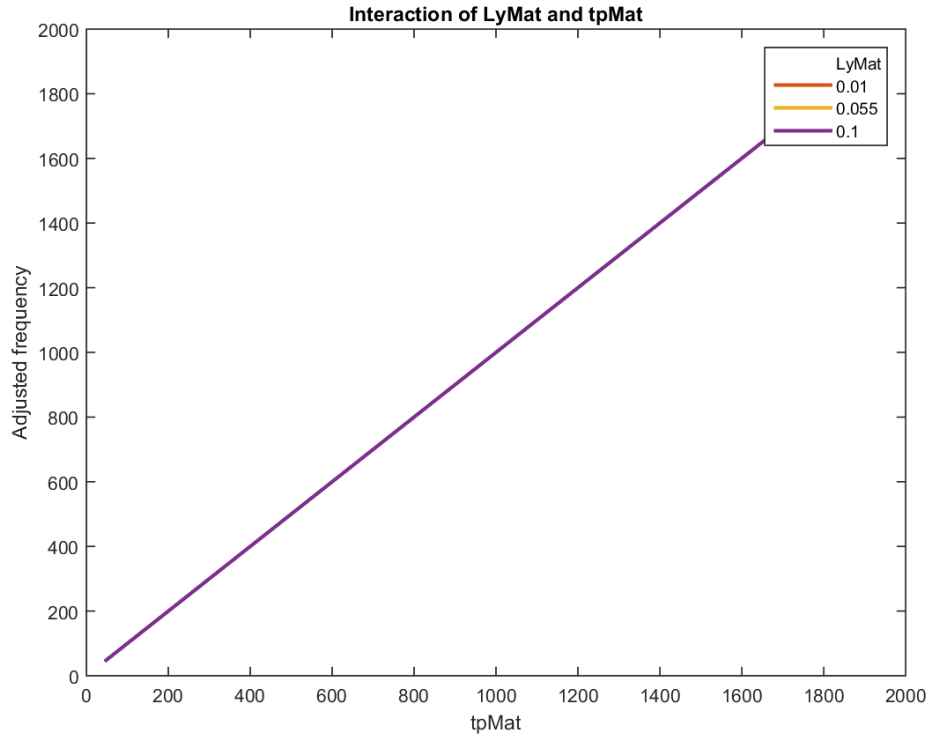
Şekil 4.27 Güçlendirici kalınlığı (tw) ve güçlendirici yüksekliği (Ly)'nin doğal frekansa katkısı



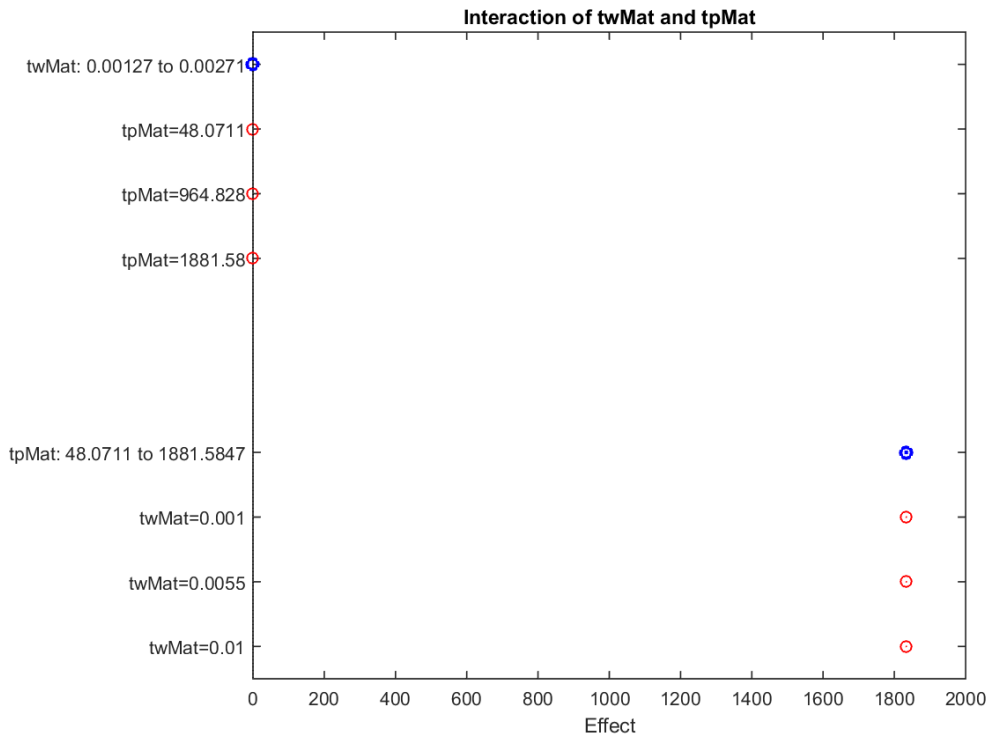
Şekil 4.28 Güçlendirici kalınlığı (tw) ve güçlendirici yüksekliği (Ly) arasındaki ilişki



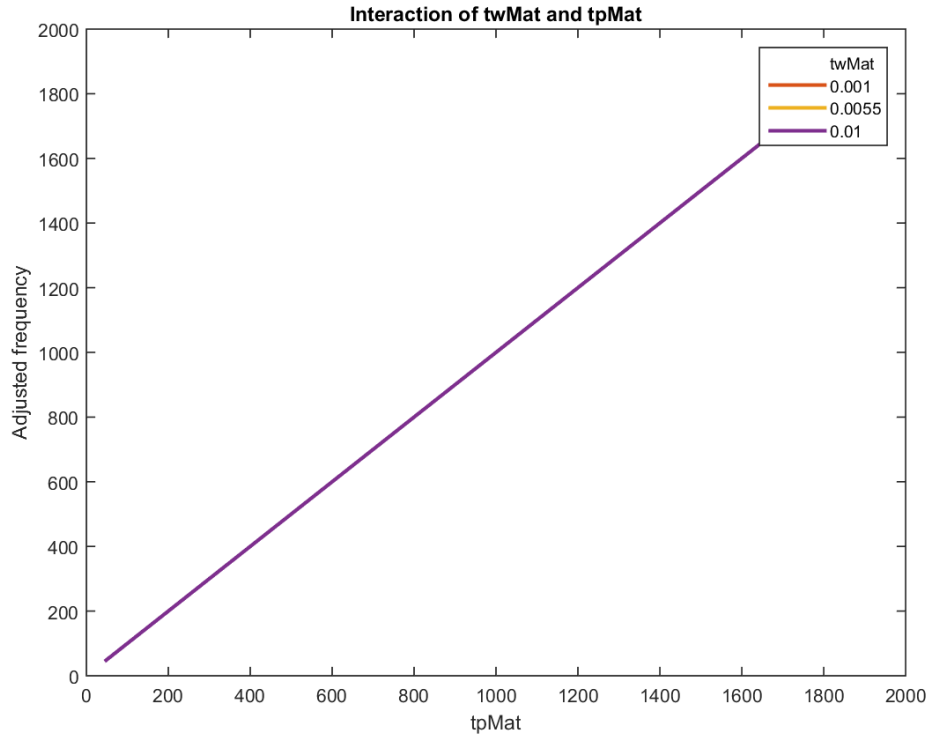
Şekil 4.29 Plak kalınlığı (tp) ve güçlendirici yüksekliği (Ly)'nin doğal frekansa katkısı



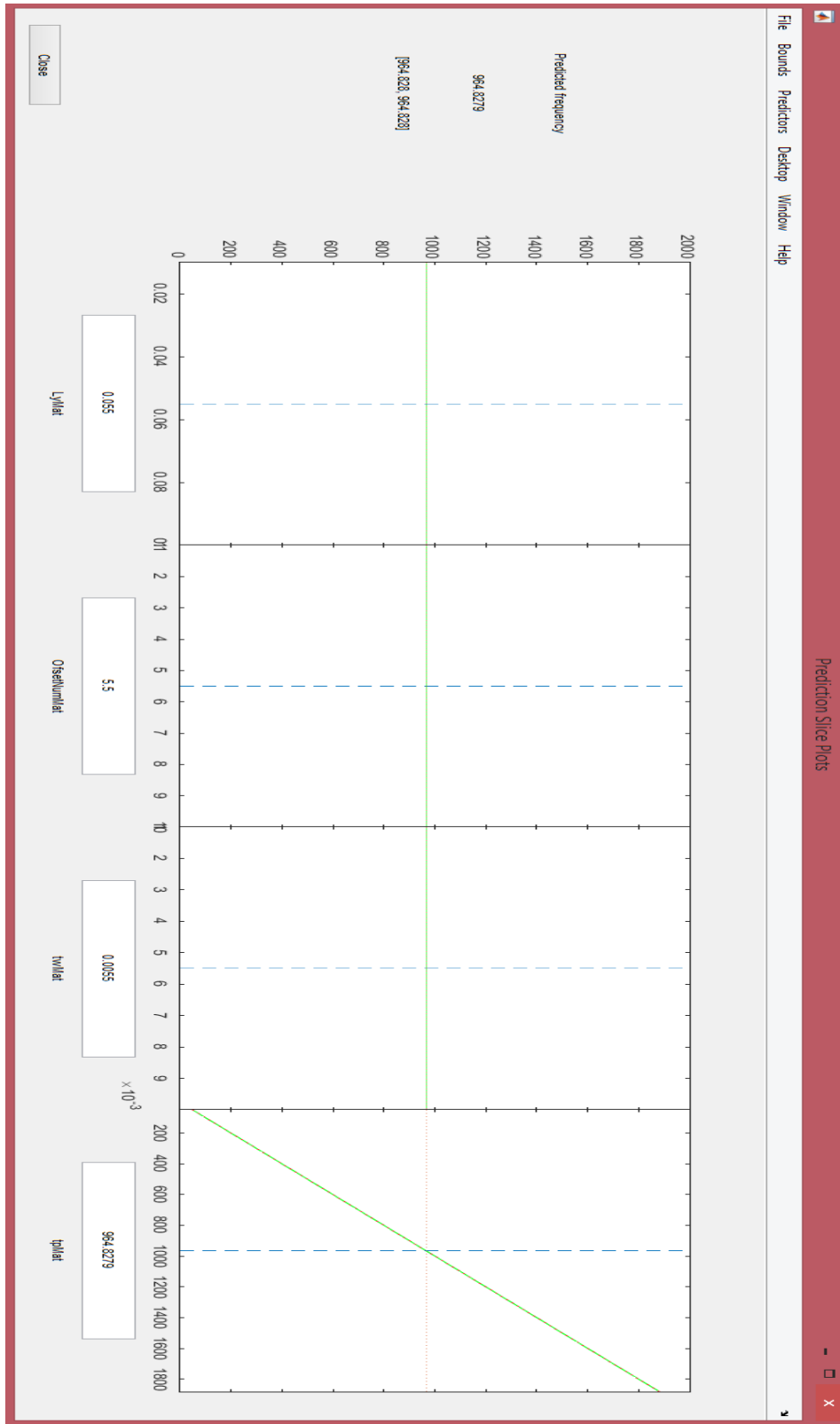
Şekil 4.30 Plak kalınlığı (tp) ve güçlendirici yüksekliği (Ly) arasındaki ilişki



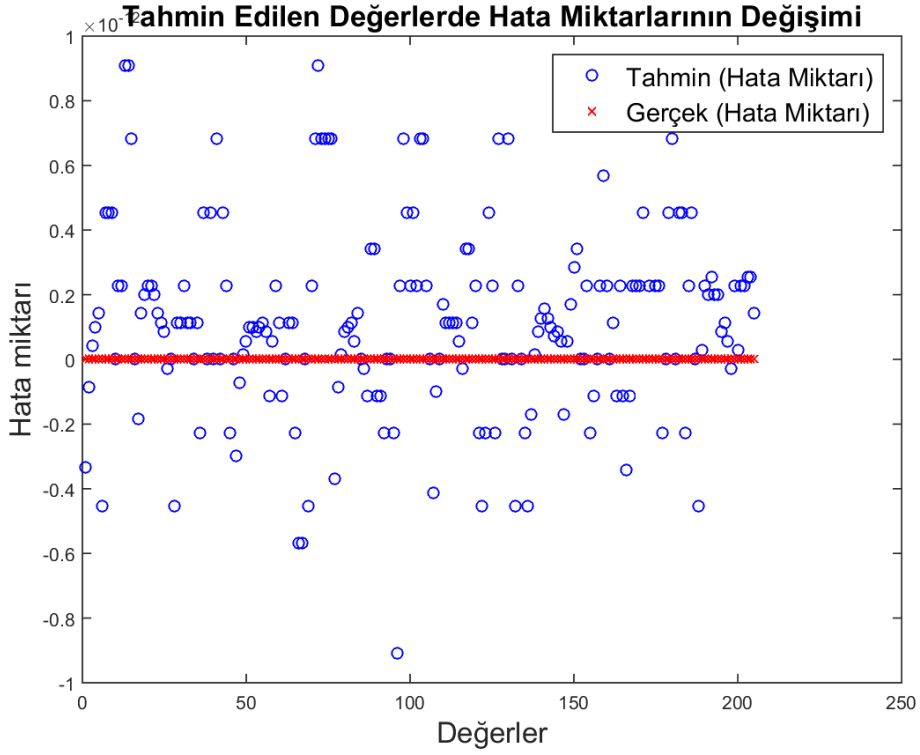
Şekil 4.31 Plak kalınlığı (tp) ve güçlendirici kalınlığı (tw)'nin doğal frekansa katkısı



Şekil 4.32 Plak kalınlığı (tp) ve güçlendirici kalınlığı (tw) arasındaki ilişki



Şekil 4.33 Plak kalınlığı (tp), güçlendirici kalınlığı (tw), Güçlendirici yüksekliği (Ly) ve güçlendirici sayısı (OfsetNum)'nın doğal frekans üzerindeki katkılarının tek grafik üzerinde görüntülenmesi



Şekil 4.34 Dördüncü durum için tahmin edilen hata miktarlarının gerçek değerlerle kıyaslanması

Şekil 4.20-4.32 arasındaki grafiklerde plak kalınlığı t_p , güçlendirici yüksekliği L_y , güçlendirici kalınlığı t_w ve güçlendirici sayısı OfsetNum'ın doğal frekans üzerindeki katkıları araştırılmıştır. Grafikler incelendiğinde güçlendirici sayısı OfsetNum'ın güçlendirici yüksekliği L_y ve güçlendirici kalınlığı t_w ile katkı değerlerinin örtüştüğü yani doğal frekans değeri üzerinde hemen hemen eşit katkıda bulunduğu görülürken, güçlendirici sayısı OfsetNum'ın plak kalınlığı t_p ile ise lineer bir ilişki içerisinde olduğu izlenmiştir.

Yine (L_y, t_p) ve (t_p, t_w) parametre çiftlerinin de bu dört parametreye bağlı olarak oluşturulan regresyon modeli dikkate alındığında doğrusal frekans üzerinde artırıcı bir katkıda buldukları görülmektedir.

Şekil 4.33'de bu dört parametre tek bir grafik üzerinde gösterildiğinde plak kalınlığı t_p 'nin ilgili regresyon modelinde diğer üç parametreye nazaran doğal frekans üzerinde daha fazla katkısının olduğu görülmektedir. Güçlendirici plak yüksekliği L_y , güçlendirici sayısı OfsetNum, güçlendirici kalınlığı t_w sistemin doğal frekansına çok az miktarda katkı sağlarken, plak kalınlığı t_p 'nin doğal frekansını doğrusal olarak artırdığı görülmektedir.

Şekil 4.34’de hata miktarlarının data aralıklarındaki değişimi incelendiğinde hata miktarının diğer regresyon kabullerine göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. İlgili modelde kullanılan parametre sayısındaki fazlalığın da regresyon denkleminin komplikasyonunu artırmasından dolayı böyle bir durumun ortaya çıktığı söylenebilir.

4.5 Beşinci Durum

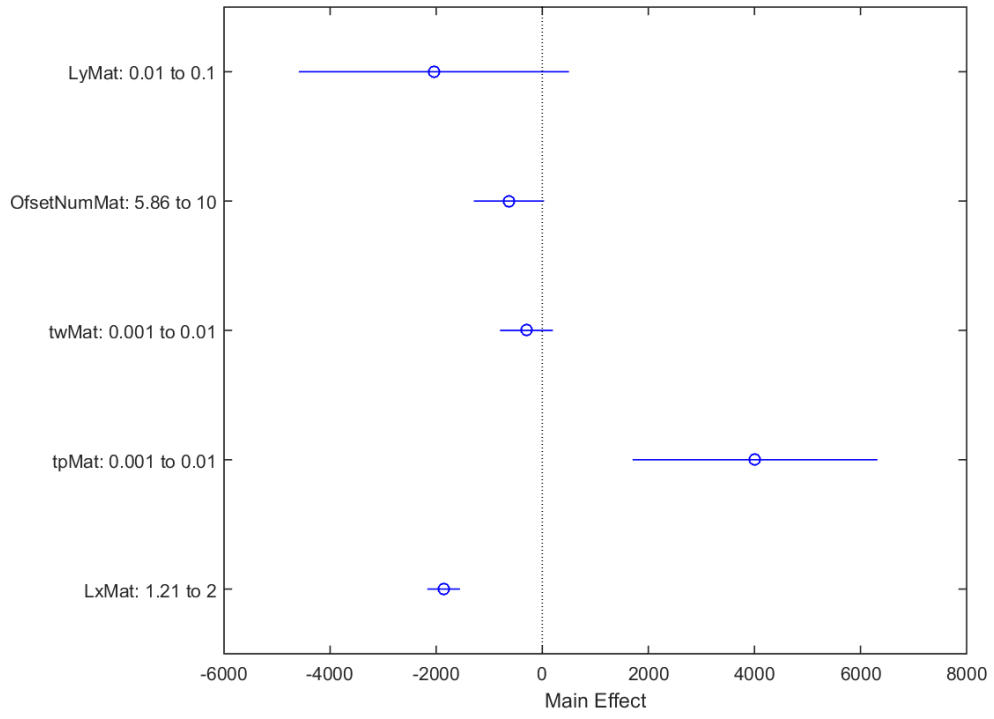
Çizelge 4.5 Beşinci durum için değişken ve sabit parametreler

Değişkenler	Sabitler
tp, tw, Ly, OfsetNum, Lz	Lz

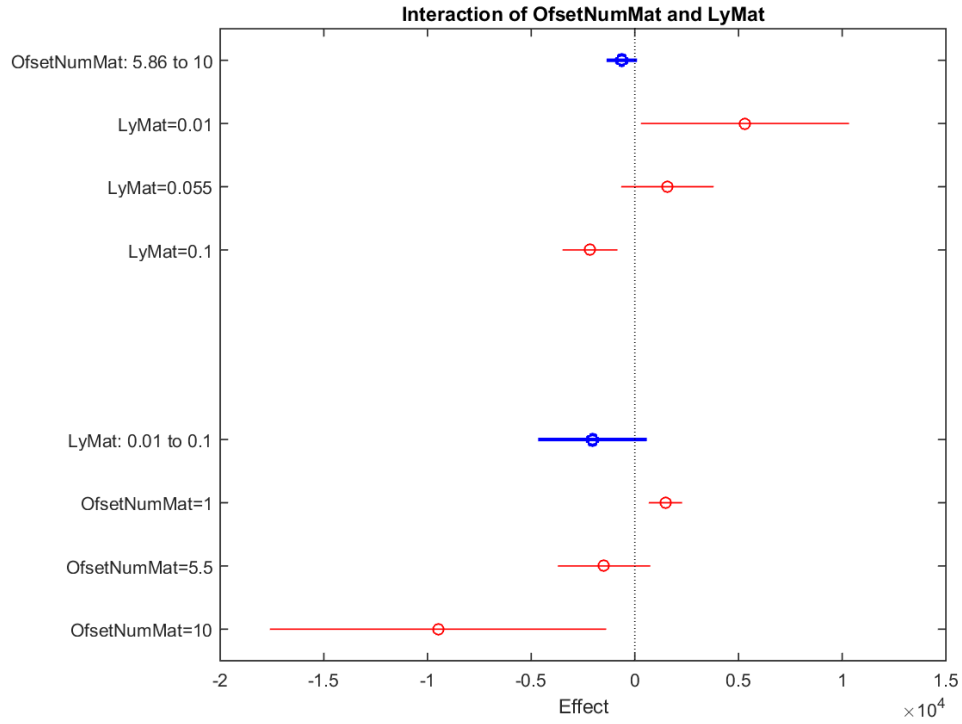
$$\begin{aligned}
 y = & 1 + LyMat * OfsetNumMat + OfsetNumMat^2 + LyMat * twMat + OfsetNumMat \\
 & * twMat + LyMat * tpMat + OfsetNumMat * tpMat + twMat * tpMat + tpMat^2 + LyM \\
 & at * LxMat + OfsetNumMat * LxMat + twMat * LxMat + tpMat * LxMat + LxMat^2 + L \\
 & yMat : (OfsetNumMat^2) + OfsetNumMat^3 + LyMat : OfsetNumMat : twMat + (Of \\
 & setNumMat^2) : twMat + LyMat : OfsetNumMat : tpMat + (OfsetNumMat^2) : tpM \\
 & at + LyMat : twMat : tpMat + OfsetNumMat : twMat : tpMat + LyMat : (tpMat^2) + Of \\
 & setNumMat : (tpMat^2) + twMat : (tpMat^2) + LyMat : OfsetNumMat : LxMat + (Of \\
 & setNumMat^2) : LxMat + LyMat : twMat : LxMat + OfsetNumMat : twMat : LxMat + L \\
 & yMat : tpMat : LxMat + OfsetNumMat : tpMat : LxMat + twMat : tpMat : LxMat + (tpM \\
 & at^2) : LxMat + LyMat : (LxMat^2) + OfsetNumMat : (LxMat^2) + twMat : (LxMat^ \\
 & 2) + tpMat : (LxMat^2) + LxMat^3 + LyMat : (OfsetNumMat^3) + OfsetNumMat^ \\
 & 4 + LyMat : (OfsetNumMat^2) : twMat + (OfsetNumMat^3) : twMat + LyMat : (Ofse \\
 & tNumMat^2) : tpMat + LyMat : OfsetNumMat : twMat : tpMat + (OfsetNumMat^2) : \\
 & twMat : tpMat + LyMat : OfsetNumMat : (tpMat^2) + (OfsetNumMat^2) : (tpMat^ \\
 & 2) + LyMat : twMat : (tpMat^2) + OfsetNumMat : twMat : (tpMat^2) + LyMat : (Ofse \\
 & tNumMat^2) : LxMat + (OfsetNumMat^3) : LxMat + LyMat : OfsetNumMat : twMat \\
 & : LxMat + (OfsetNumMat^2) : twMat : LxMat + LyMat : OfsetNumMat : tpMat : LxMa \\
 & t + (OfsetNumMat^2) : tpMat : LxMat + LyMat : twMat : tpMat : LxMat + OfsetNumM \\
 & at : twMat : tpMat : LxMat + OfsetNumMat : (tpMat^2) : LxMat + twMat : (tpMat^2) : \\
 & LxMat + LyMat : OfsetNumMat : (LxMat^2) + (OfsetNumMat^2) : (LxMat^2) + Ly
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \text{Mat:twMat:(LxMat}^2\text{)+OfsetNumMat:twMat:(LxMat}^2\text{)+LyMat:tpMat:(Lx} \\
& \text{Mat}^2\text{)+OfsetNumMat:tpMat:(LxMat}^2\text{)+twMat:tpMat:(LxMat}^2\text{)+(tpMat} \\
& \text{}^2\text{):(LxMat}^2\text{)+LyMat:(LxMat}^3\text{)+OfsetNumMat:(LxMat}^3\text{)+twMat:(LxMa} \\
& \text{t}^3\text{)+tpMat:(LxMat}^3\text{)+LxMat}^4\text{+LyMat:OfsetNumMat:twMat:(tpMat}^2\text{)+} \\
& \text{(OfsetNumMat}^2\text{):twMat:(tpMat}^2\text{)+LyMat:(OfsetNumMat}^3\text{):LxMat+(Ofs} \\
& \text{etNumMat}^4\text{):LxMat+LyMat:(OfsetNumMat}^2\text{):twMat:LxMat+(OfsetNumM} \\
& \text{at}^3\text{):twMat:LxMat+LyMat:(OfsetNumMat}^2\text{):tpMat:LxMat+(OfsetNumM} \\
& \text{}^2\text{):twMat:tpMat:LxMat+OfsetNumMat:twMat:(tpMat}^2\text{):LxMat+(OfsetNu} \\
& \text{mMat}^3\text{):(LxMat}^2\text{)+(OfsetNumMat}^2\text{):twMat:(LxMat}^2\text{)+LyMat:OfsetNu} \\
& \text{mMat:tpMat:(LxMat}^2\text{)+LyMat:twMat:tpMat:(LxMat}^2\text{)+OfsetNumMat:tw} \\
& \text{Mat:tpMat:(LxMat}^2\text{)+twMat:(tpMat}^2\text{):(LxMat}^2\text{)+LyMat:OfsetNumMat:(} \\
& \text{LxMat}^3\text{)+(OfsetNumMat}^2\text{):(LxMat}^3\text{)+LyMat:twMat:(LxMat}^3\text{)+OfsetN} \\
& \text{umMat:tpMat:(LxMat}^3\text{)+twMat:tpMat:(LxMat}^3\text{)+LyMat:(LxMat}^4\text{)+Ofse} \\
& \text{tNumMat:(LxMat}^4\text{)+twMat:(LxMat}^4\text{)+tpMat:(LxMat}^4\text{)} \quad (4.19)
\end{aligned}$$

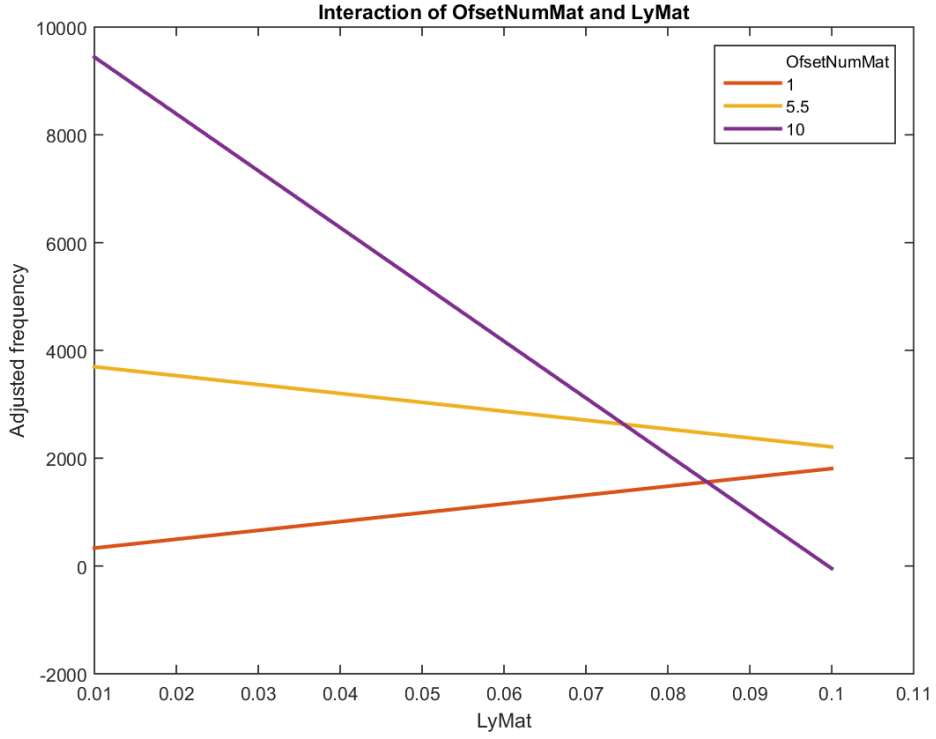
Beşinci durumda plak kalınlığı (tp) , güçlendirici plak kalınlığı (tw), güçlendirici yüksekliği Ly, güçlendirici sayısı OfsetNum ve plak uzunluğu Lx'in doğal frekans üzerindeki katkıları araştırılmıştır. Yukarıda (4.19) numaralı denklemde bu beş parametreye bağlı 5'inci dereceden bir polinom fonksiyon ile regresyon modeli kurulmuştur. Modelde parametrelerin birbirleriyle olan matematiksel ilişkinin daha doğru bir şekilde ifade edilebilmesi için işlemsel kombinasyonlar yapılmıştır.



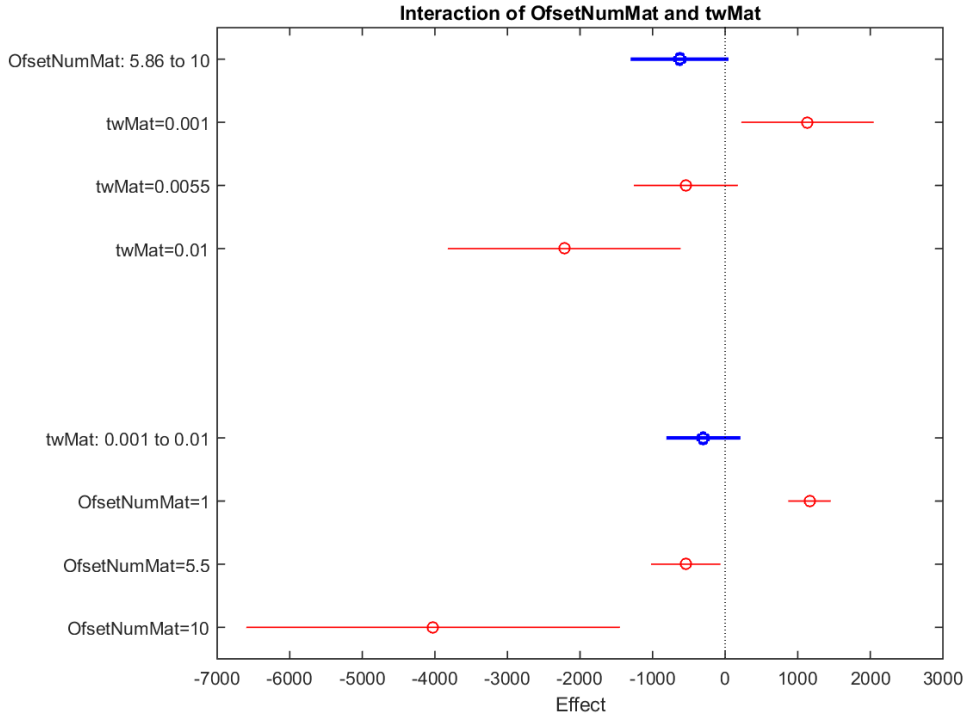
Şekil 4.35 Plak kalınlığı (tp), güçlendirici kalınlığı (tw), güçlendirici yüksekliği (Ly), plak uzunluğu (Lx) ve güçlendirici sayısı (OfsetNum) 'nın doğal frekansa katkısı



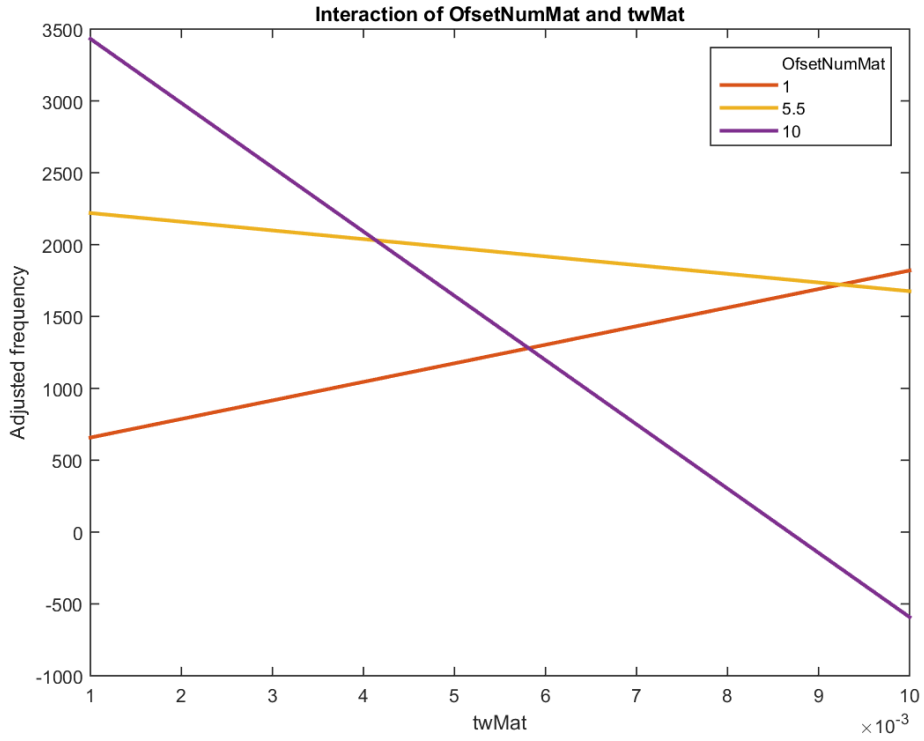
Şekil 4.36 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve güçlendirici plak yüksekliği (Ly)'nin doğal frekans üzerindeki katkıları



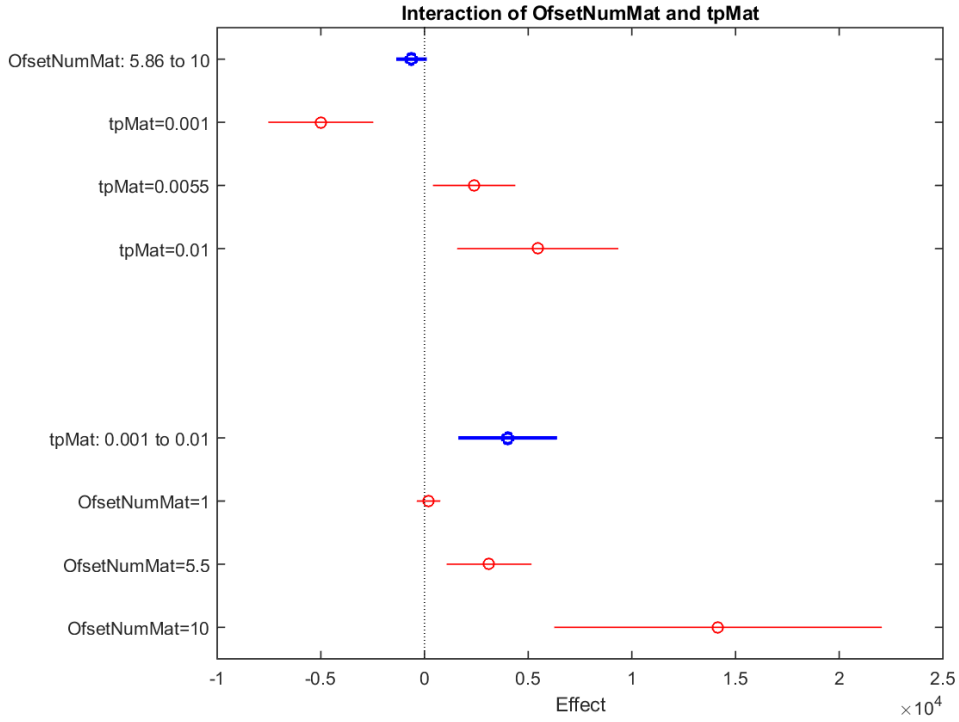
Şekil 4.37 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve güçlendirici plak yüksekliği (Ly) arasındaki ilişki



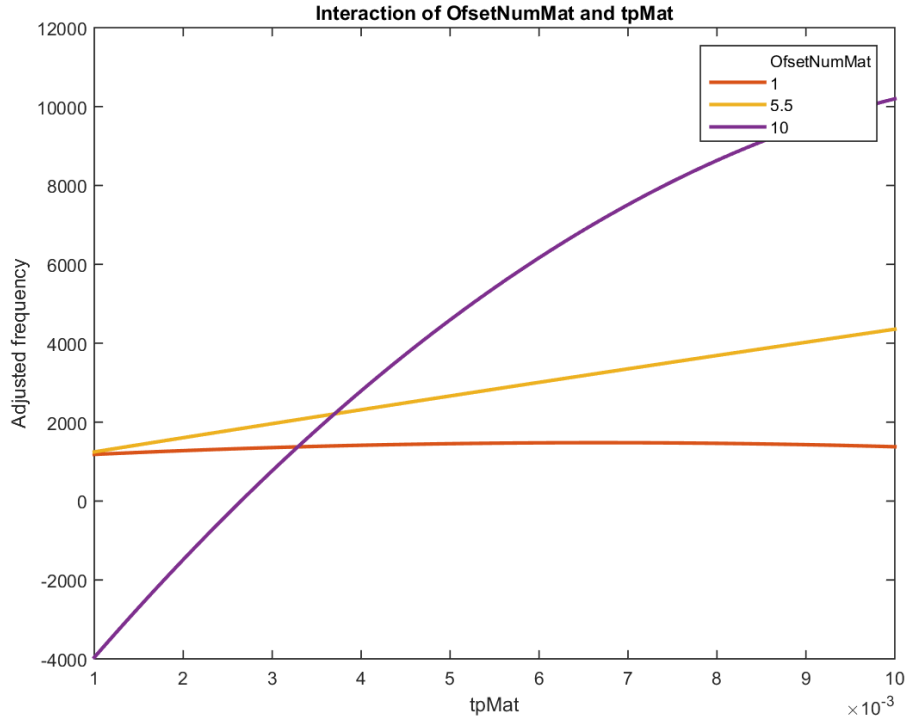
Şekil 4.38 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve güçlendirici kalınlığı (tw)'nın doğal frekans üzerindeki katkıları



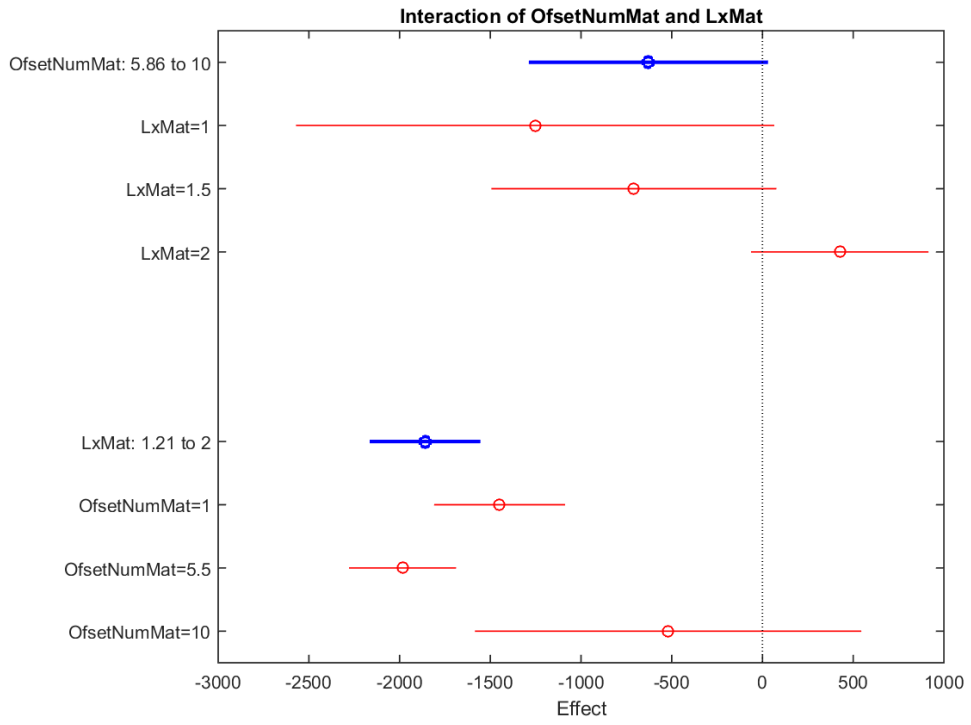
Şekil 4.39 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve güçlendirici kalınlığı (tw) arasındaki ilişki



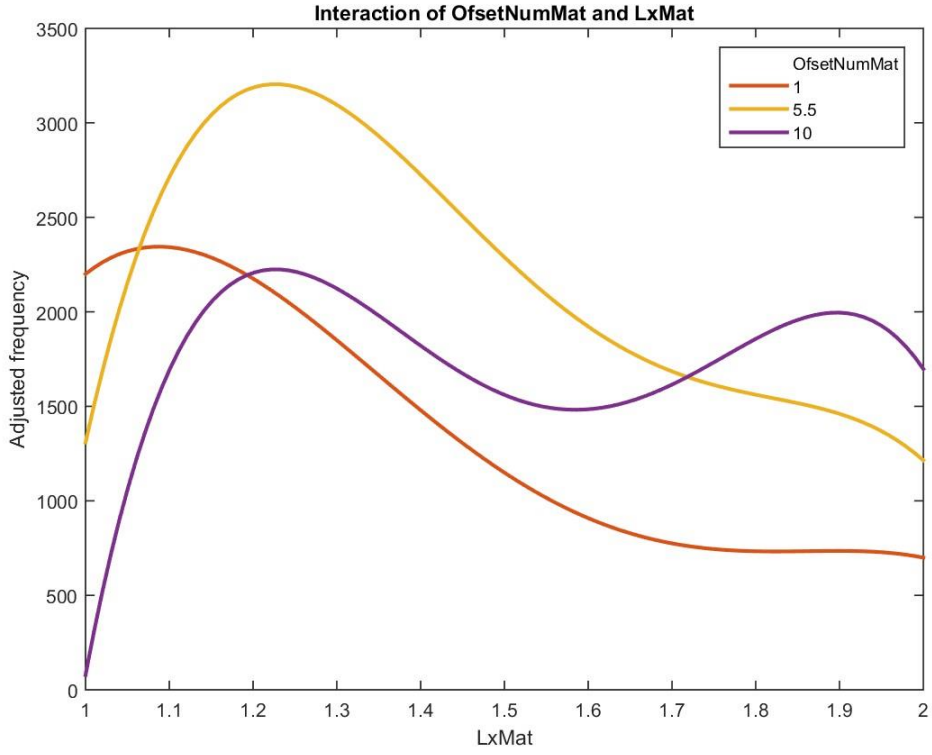
Şekil 4.40 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve plak kalınlığı (tp)'nın doğal frekans üzerindeki katkıları



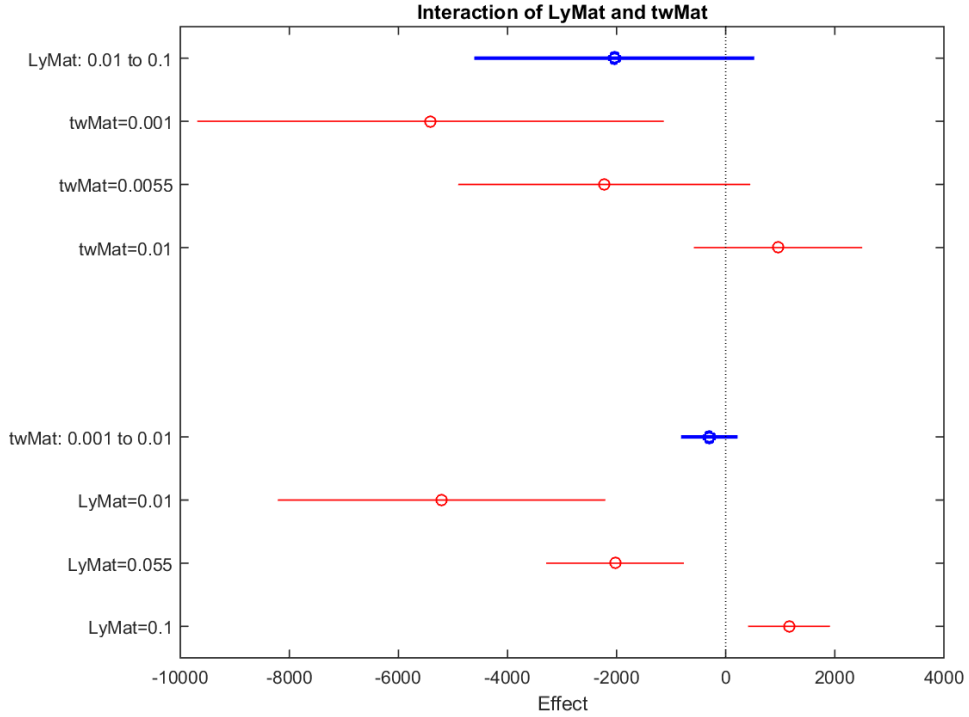
Şekil 4.41 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve plak eleman kalınlığı (tp) arasındaki ilişki



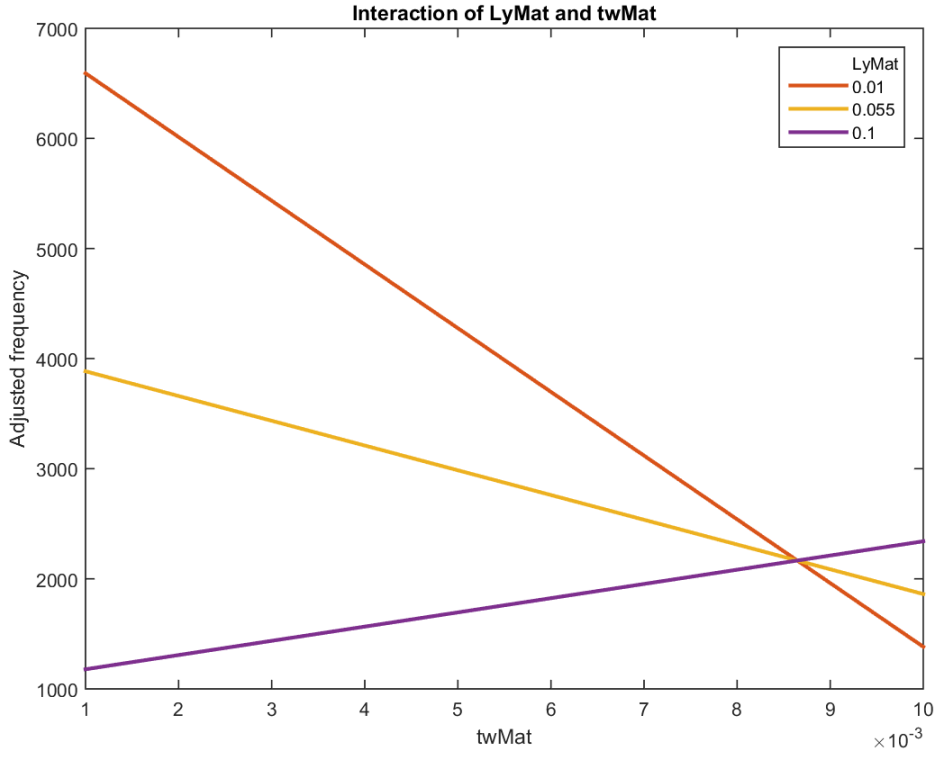
Şekil 4.42 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve plak uzunluğu (Lx)'nin doğal frekans üzerindeki katkıları



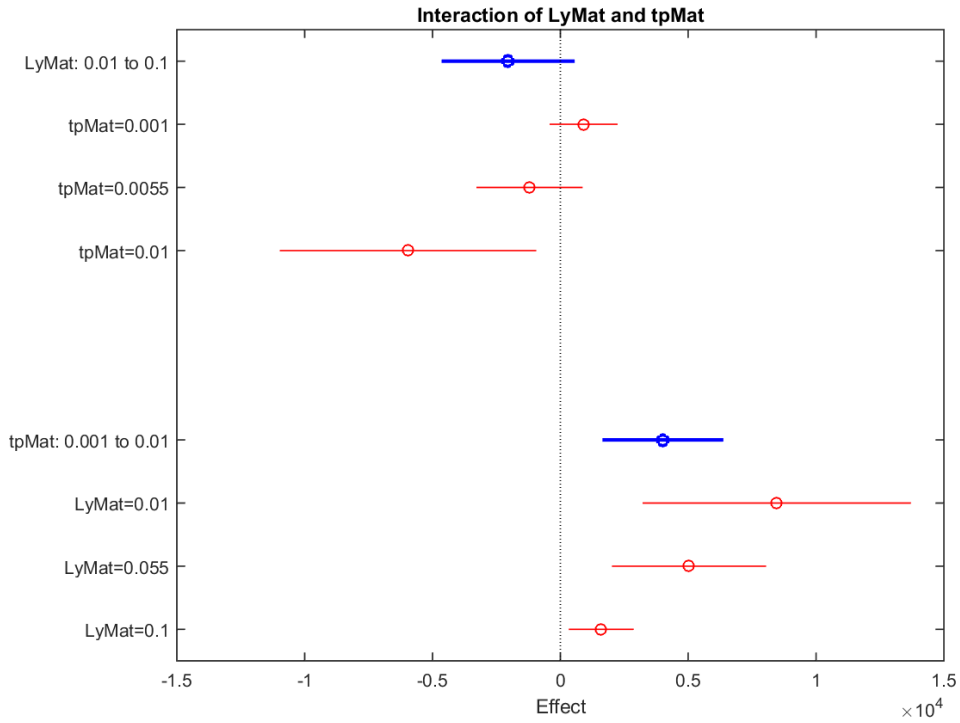
Şekil 4.43 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve plak uzunluğu (Lx) arasındaki ilişki



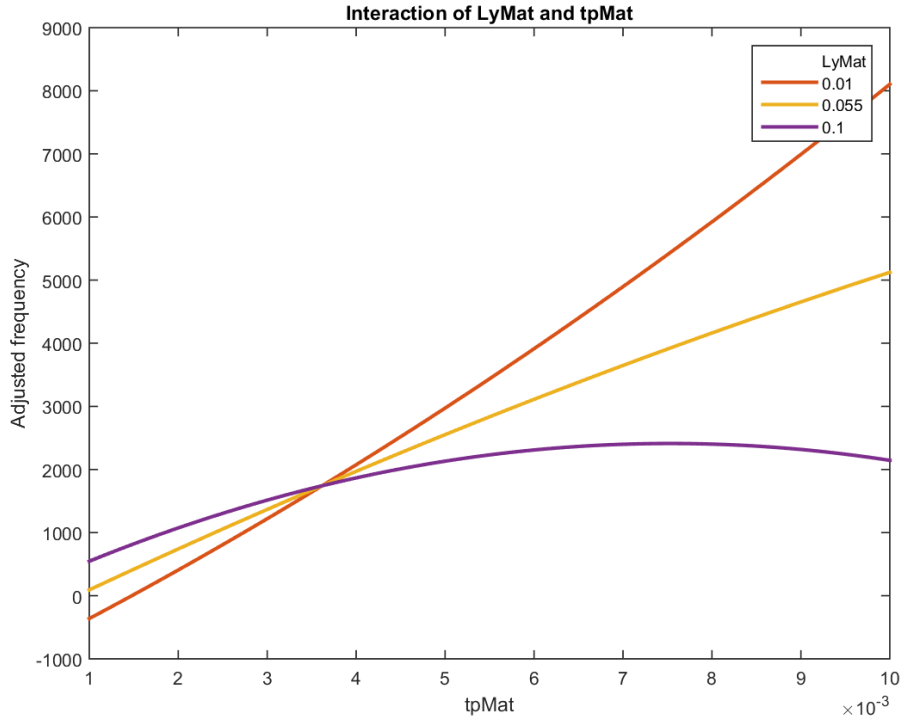
Şekil 4.44 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve plak uzunluğu (Lx)'nin doğal frekans üzerindeki katkıları



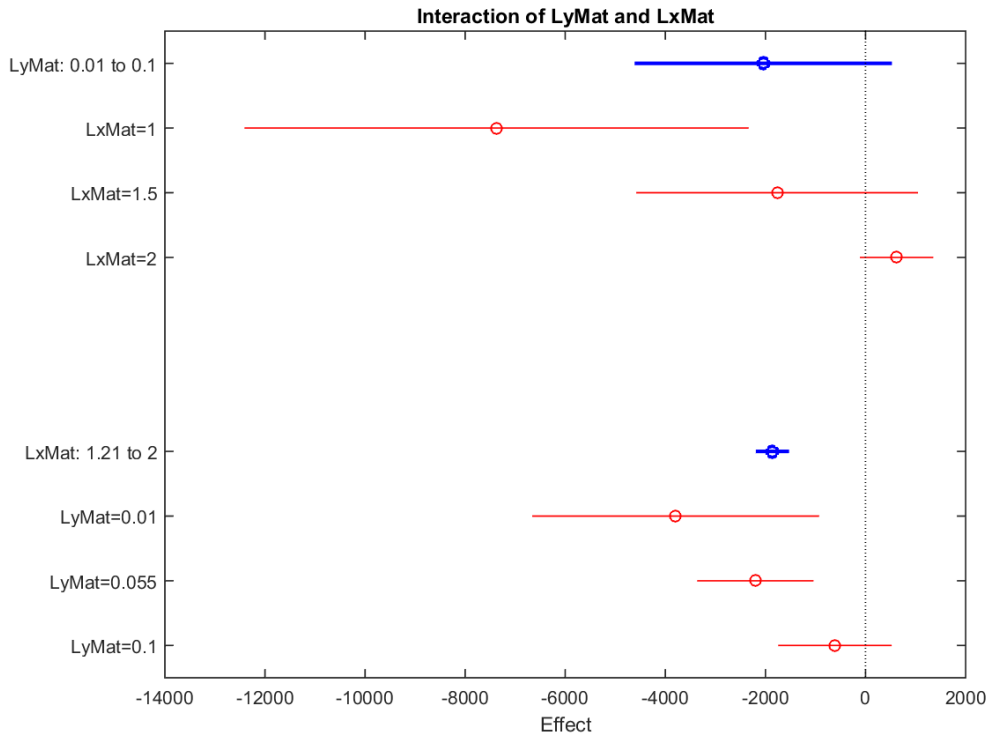
Şekil 4.45 Güçlendirici yüksekliği (Ly) ve güçlendirici plak kalınlığı (tw) arasındaki ilişki



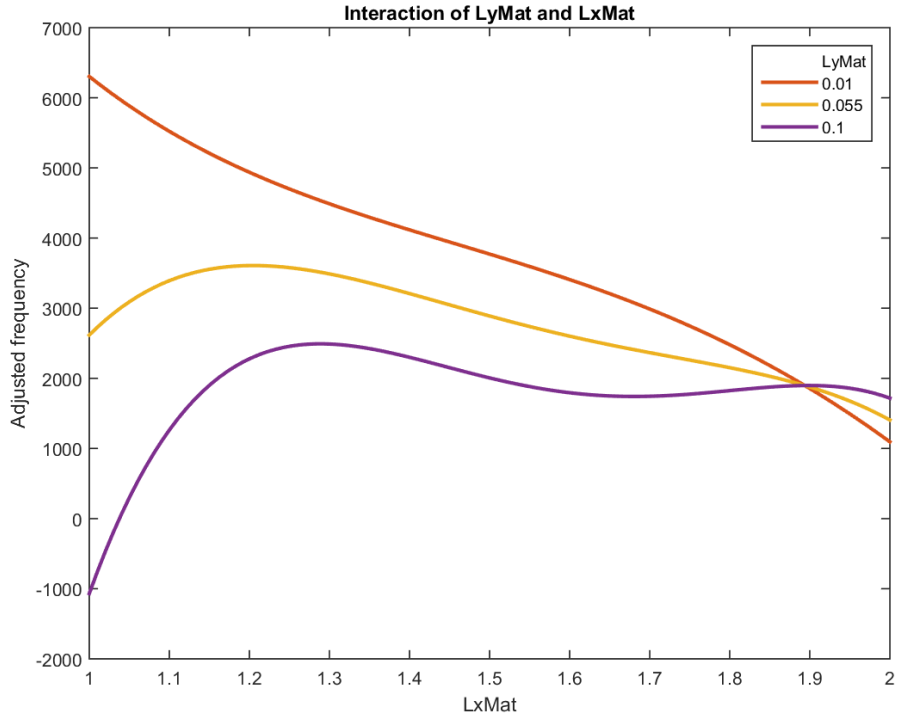
Şekil 4.46 Güçlendirici yüksekliği (Ly) ve plak kalınlığı (tp)'nin doğal frekans üzerindeki katkıları



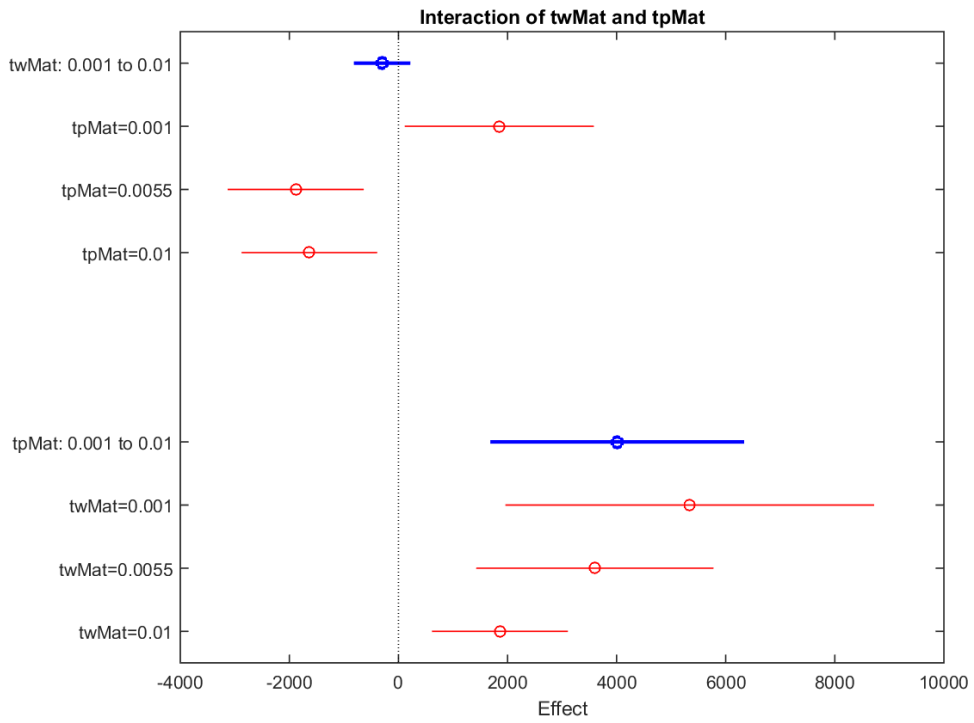
Şekil 4.47 Güçlendirici yüksekliği (Ly) ve plak kalınlığı (tp) arasındaki ilişki



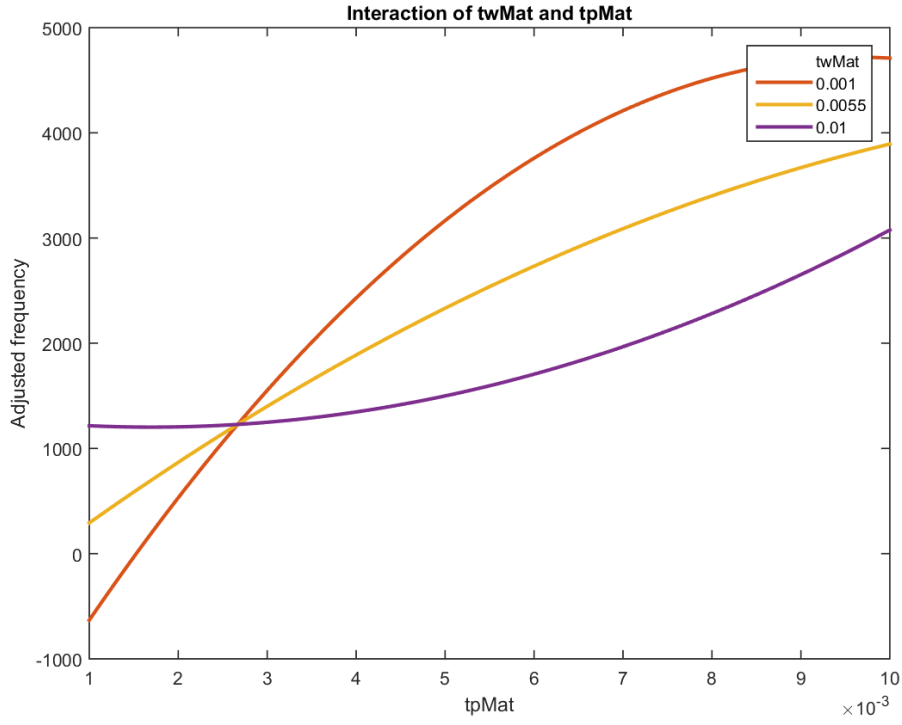
Şekil 4.48 Güçlendirici yüksekliği (Ly) ve plak uzunluğu (Lx)'nin doğal frekans üzerindeki katkıları



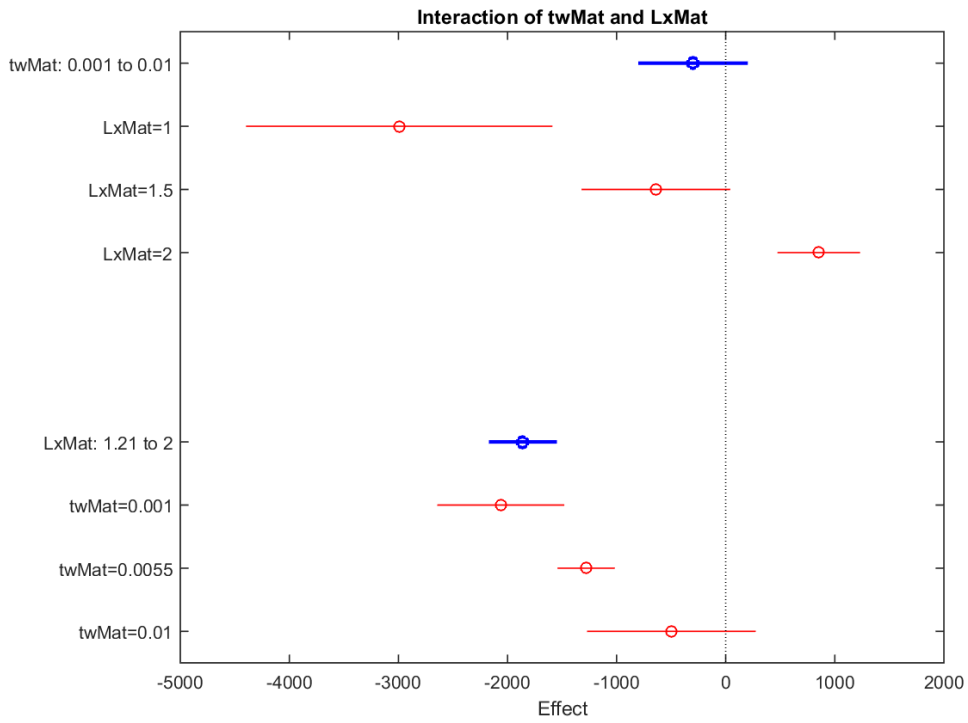
Şekil 4.49 Güçlendirici yüksekliği (Ly) ve plak uzunluğu (Lx) arasındaki ilişki



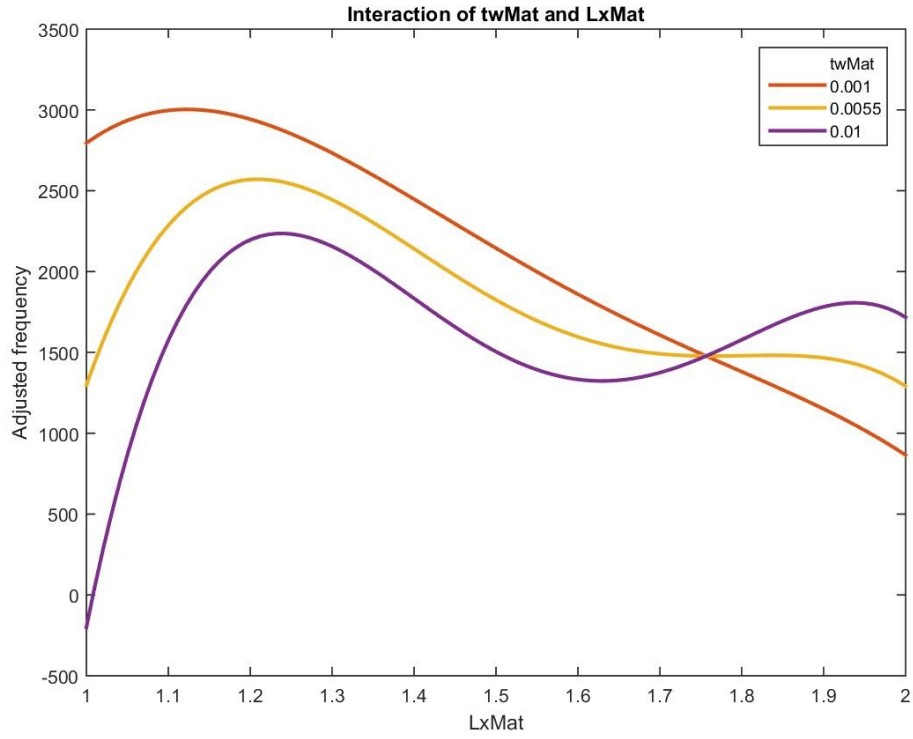
Şekil 4.50 Güçlendirici kalınlığı (tw) ve plak kalınlığı (tp)'nın doğal frekans üzerindeki katkıları



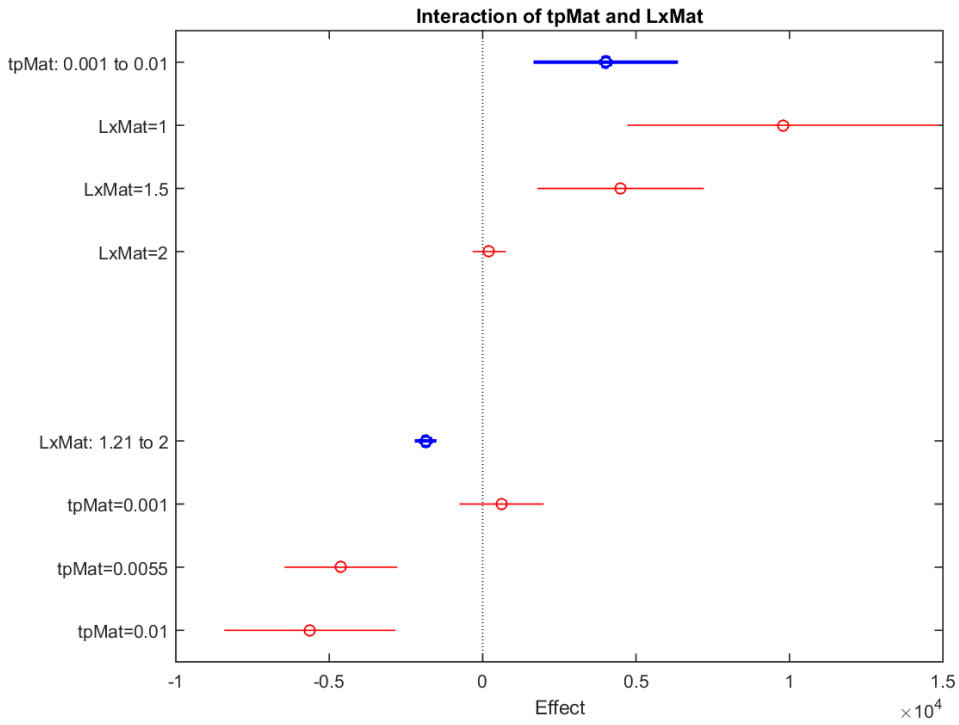
Şekil 4.51 Güçlendirici kalınlığı (tw) ve plak kalınlığı (tp) arasındaki ilişki



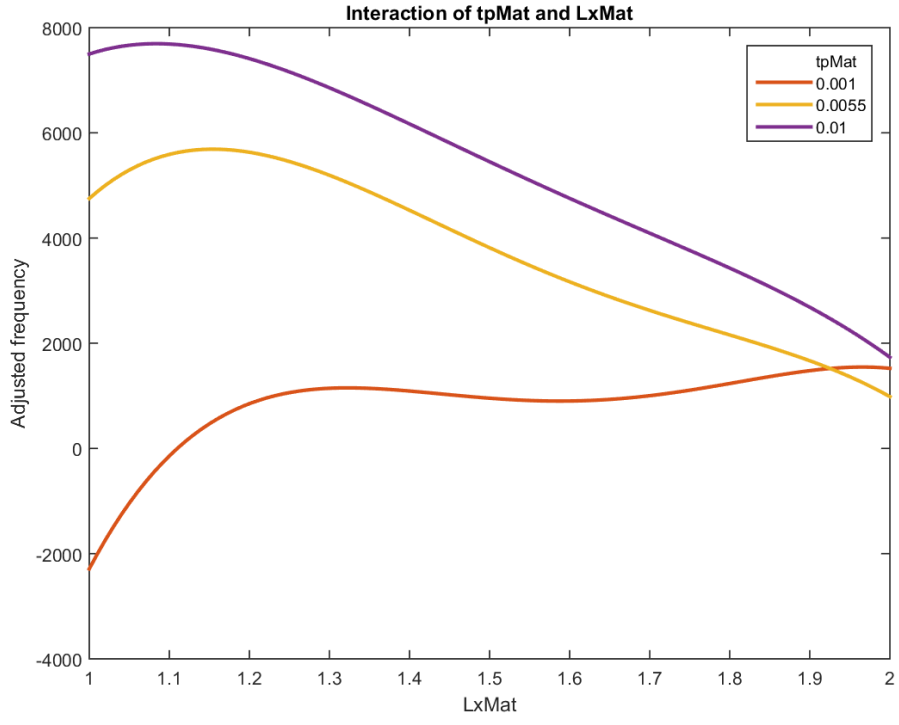
Şekil 4.52 Güçlendirici kalınlığı (tw) ve plak uzunluğu (Lx)'nin doğal frekans üzerindeki katkıları



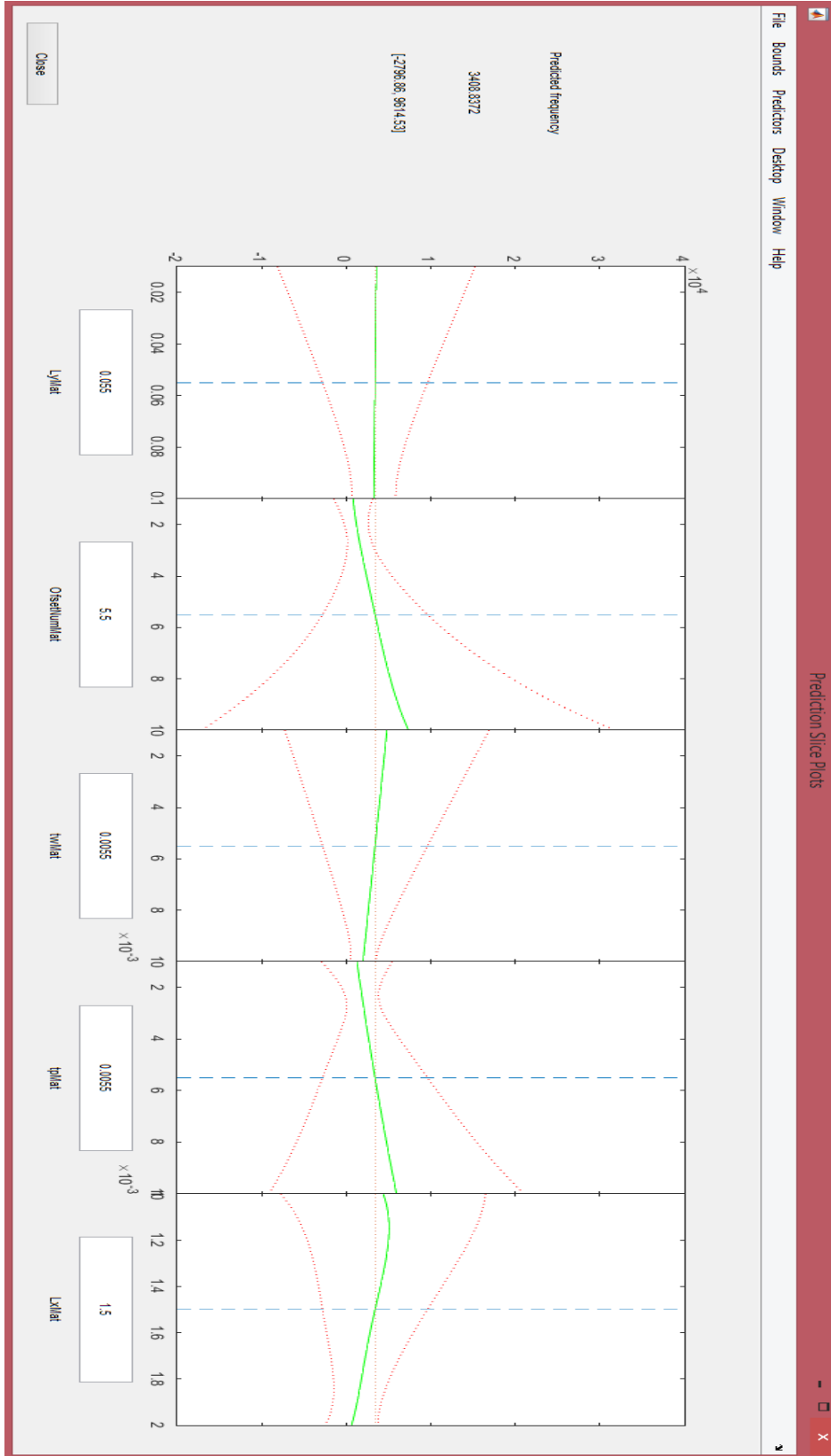
Şekil 4.53 Güçlendirici kalınlığı (tw) ve plak uzunluğu (Lx) arasındaki ilişki



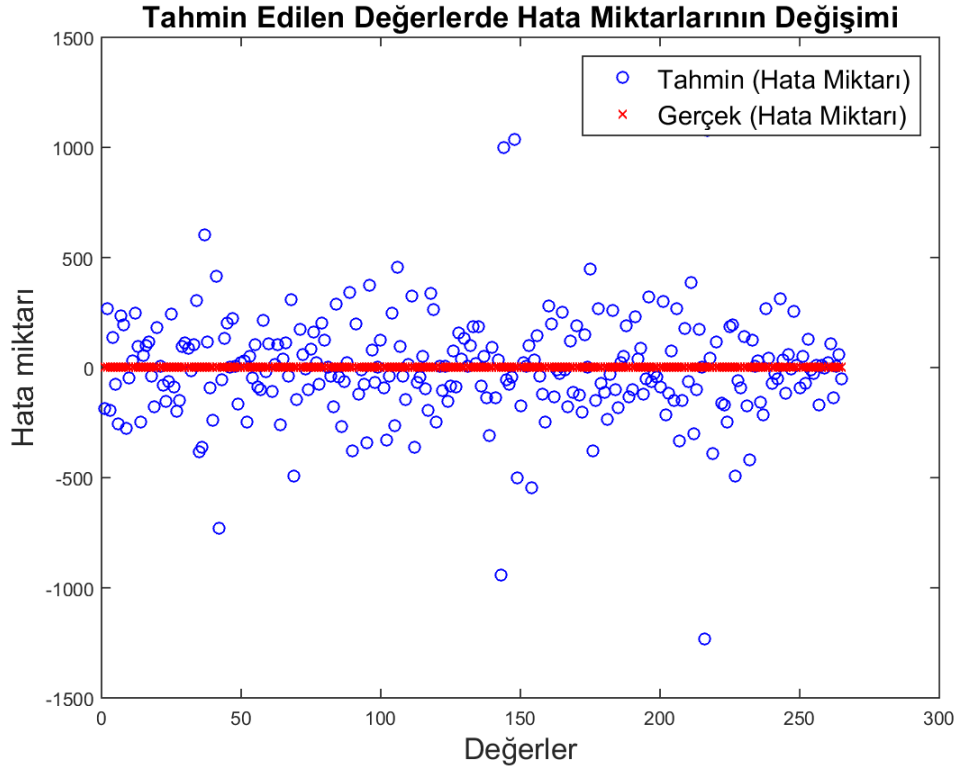
Şekil 4.54 Plak uzunluğu (Lx) ve plak kalınlığı (tp)'nin doğal frekans üzerindeki katkıları



Şekil 4.55 Güçlendirici kalınlığı (tw) ve plak uzunluğu (Lx) arasındaki ilişki



Şekil 4.56 Plak kalınlığı (tp),güçlendirici kalınlığı (tw), Güçlendirici yüksekliği (Ly), plak uzunluğu (Lx) ve güçlendirici sayısı (OfsetNum)'nın doğal frekans üzerindeki katkılarının tek grafik üzerinde görüntülenmesi



Şekil 4.57 Beşinci durum için tahmin edilen hata miktarlarının gerçek değerlerle kıyaslanması

Şekil 4.35-4.55 arasındaki grafikler incelendiğinde plak kalınlığı (t_p), güçlendirici plak kalınlığı (t_w), güçlendirici yüksekliği L_y , güçlendirici sayısı $OfsetNum$ ve plak uzunluğu L_x 'in bu regresyon modeli baz alındığında doğal frekans üzerinde benzer katkılarda bulunduğu görülmektedir.

Güçlendirici yüksekliği L_y ile güçlendirici kalınlığı t_w 'nin frekans üzerinde benzer katkılar sağladığı Şekil 4.38'de de görülmektedir.

Şekil 4.35 ve 4.37'te güçlendirici sayısı $OfsetNum$ 'ın değerindeki artış ile beraber maksimum değerinde güçlendirici yüksekliği L_y ve güçlendirici kalınlığı t_w ile ters orantı gösterdiği görülmektedir.

Şekil 4.56'de bu beş parametrenin doğal frekans üzerinde birlikte etkileri göz önünde bulundurulduğunda $OfsetNum$ ve t_p 'nin diğer parametrelere göre doğal frekans üzerinde daha fazla katkıda bulunduğu görülmektedir. Güçlendirici plak yüksekliği L_y , plak kalınlığı t_p ve güçlendirici sayısının doğal frekans üzerinde artırıcı rol oynadığı, güçlendirici plak kalınlığı t_w ve plak uzunluğu L_x 'in ise doğal frekans

üzerinde azaltıcı rol oynadığı görülmektedir. GPE kalınlığı t_w için $5-6 \times 10^{-3} \text{ m}$ plak eleman uzunluğu L_x için ise 1-1,2 m değer aralıklarından sonra bu iki boyutsal parametrenin sistemin doğal frekansını azaltıcı yönde katkıda bulunduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 4.57’de ise tahmin edilen değerlerde hata miktarlarındaki değişim verilmiştir. Daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi regresyon modeline ait polinom fonksiyonun derecesindeki artış determinasyon katsayısını 1’e yaklaştırmakta bu da eldeki dataların regresyon denklemini daha doğru bir şekilde temsil ettiğini göstermektedir.

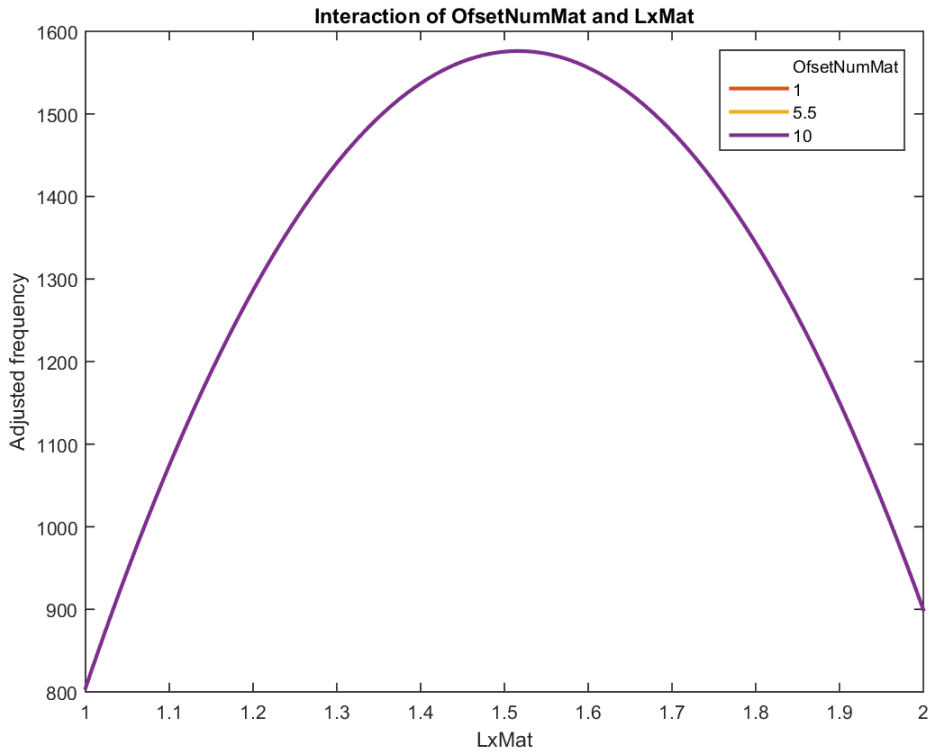
4.6 Altıncı Durum

Çizelge 4.6 Altıncı durum için değişken ve sabit parametreler

Değişkenler	Sabitler
$t_p, t_w, L_y, \text{OfsetNum}, L_x, L_z$	-

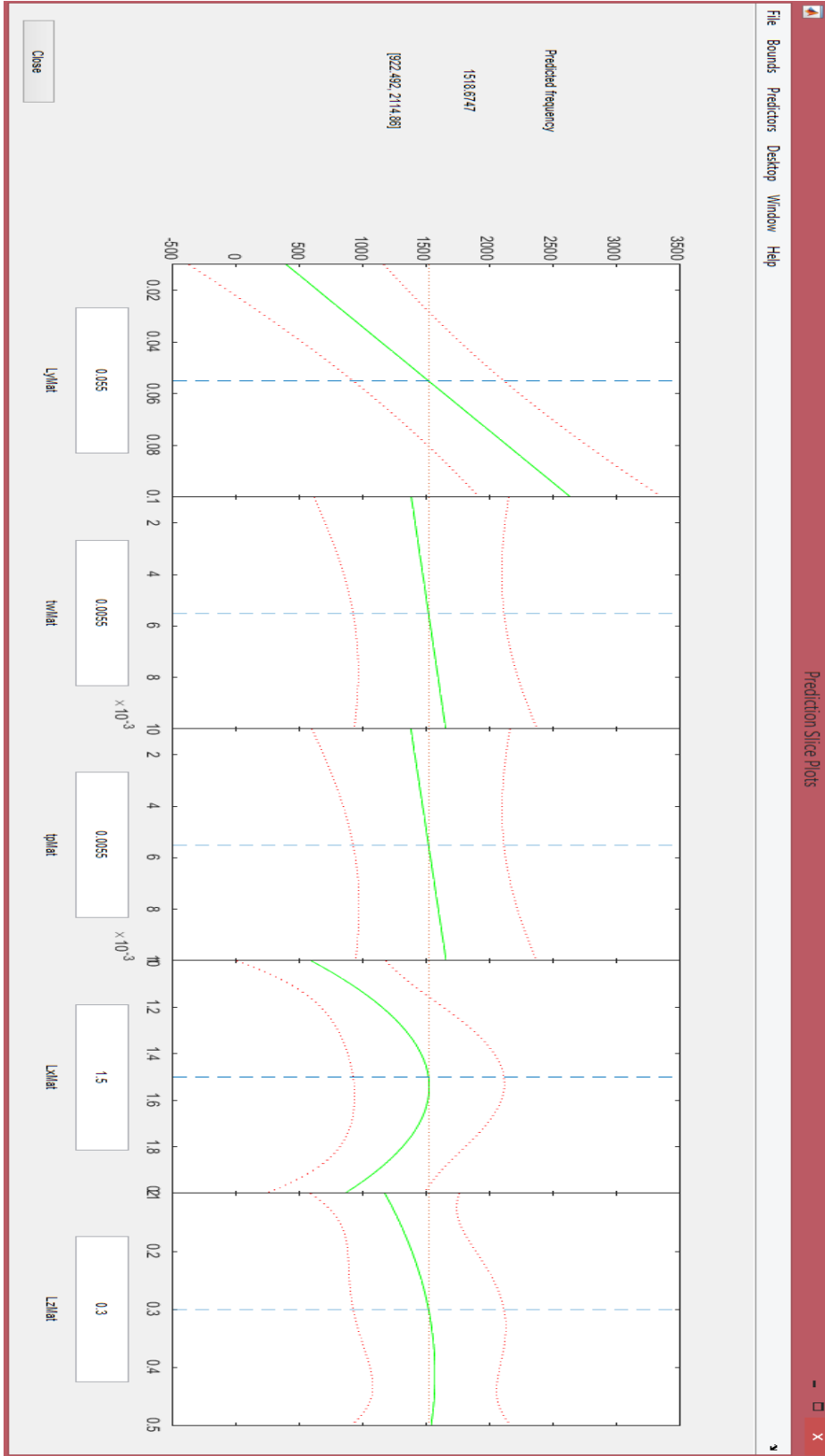
$$\begin{aligned}
 y = & 1 + L_y \text{Mat} * t_w \text{Mat} + L_y \text{Mat} * t_p \text{Mat} + t_w \text{Mat} * t_p \text{Mat} + L_y \text{Mat} * L_x \text{Mat} + t_w \text{Mat} * L_x \text{Ma} \\
 & t + t_p \text{Mat} * L_x \text{Mat} + L_x \text{Mat}^2 + L_y \text{Mat} * L_z \text{Mat} + t_w \text{Mat} * L_z \text{Mat} + t_p \text{Mat} * L_z \text{Mat} + L_x \text{Mat} \\
 & * L_z \text{Mat} + L_z \text{Mat}^2 + L_y \text{Mat} : t_w \text{Mat} : t_p \text{Mat} + L_y \text{Mat} : t_w \text{Mat} : L_x \text{Mat} + L_y \text{Mat} : t_p \text{Mat} : L_x \\
 & \text{Mat} + t_w \text{Mat} : t_p \text{Mat} : L_x \text{Mat} + L_y \text{Mat} : (L_x \text{Mat}^2) + t_w \text{Mat} : (L_x \text{Mat}^2) + t_p \text{Mat} : (L_x \text{Mat} \\
 & ^2) + L_y \text{Mat} : t_w \text{Mat} : L_z \text{Mat} + L_y \text{Mat} : t_p \text{Mat} : L_z \text{Mat} + t_w \text{Mat} : t_p \text{Mat} : L_z \text{Mat} + L_y \text{Mat} : L_x \\
 & \text{Mat} : L_z \text{Mat} + t_w \text{Mat} : L_x \text{Mat} : L_z \text{Mat} + t_p \text{Mat} : L_x \text{Mat} : L_z \text{Mat} + (L_x \text{Mat}^2) : L_z \text{Mat} + L_y \text{Ma} \\
 & t : (L_z \text{Mat}^2) + t_w \text{Mat} : (L_z \text{Mat}^2) + t_p \text{Mat} : (L_z \text{Mat}^2) + L_x \text{Mat} : (L_z \text{Mat}^2) + L_y \text{Mat} : t \\
 & w \text{Mat} : t_p \text{Mat} : L_x \text{Mat} + L_y \text{Mat} : t_w \text{Mat} : (L_x \text{Mat}^2) + t_w \text{Mat} : t_p \text{Mat} : (L_x \text{Mat}^2) + L_y \text{Mat} : \\
 & t_w \text{Mat} : t_p \text{Mat} : L_z \text{Mat} + L_y \text{Mat} : t_w \text{Mat} : L_x \text{Mat} : L_z \text{Mat} + L_y \text{Mat} : t_p \text{Mat} : L_x \text{Mat} : L_z \text{Mat} + t \\
 & w \text{Mat} : t_p \text{Mat} : L_x \text{Mat} : L_z \text{Mat} + L_y \text{Mat} : (L_x \text{Mat}^2) : L_z \text{Mat} + t_w \text{Mat} : (L_x \text{Mat}^2) : L_z \text{Mat} + \\
 & t_p \text{Mat} : (L_x \text{Mat}^2) : L_z \text{Mat} + L_y \text{Mat} : t_p \text{Mat} : (L_z \text{Mat}^2) + t_w \text{Mat} : t_p \text{Mat} : (L_z \text{Mat}^2) + L_y \\
 & \text{Mat} : L_x \text{Mat} : (L_z \text{Mat}^2) + t_w \text{Mat} : L_x \text{Mat} : (L_z \text{Mat}^2) + t_p \text{Mat} : L_x \text{Mat} : (L_z \text{Mat}^2) + (L_x \\
 & \text{Mat}^2) : (L_z \text{Mat}^2)
 \end{aligned} \tag{4.20}$$

Altıncı durumda plak kalınlığı (t_p) , güçlendirici plak kalınlığı (t_w), güçlendirici yüksekliği L_y , plak uzunluğu L_x ve plak genişliği L_z 'nin doğal frekans üzerindeki katkıları araştırılmıştır. Bu regresyon modelinde beş bağımsız değişken hesaba katıldığı için regresyon denkleminde hata payının daha yüksek olması beklenebilir. Bu durumda tıpkı diğer regresyon modellerinde olduğu gibi polinomun derecesi artırılmıştır. Ancak yine de bu durum ilgili regresyon modelindeki parametreler arası ilişkiyi tam olarak tahmin etmenin zorluğunu tam olarak giderememiştir. Yukarıda (4.20) numaralı denklemde bu beş parametreye bağlı 4'inci dereceden bir polinom fonksiyon ile regresyon modeli kurulmuştur.



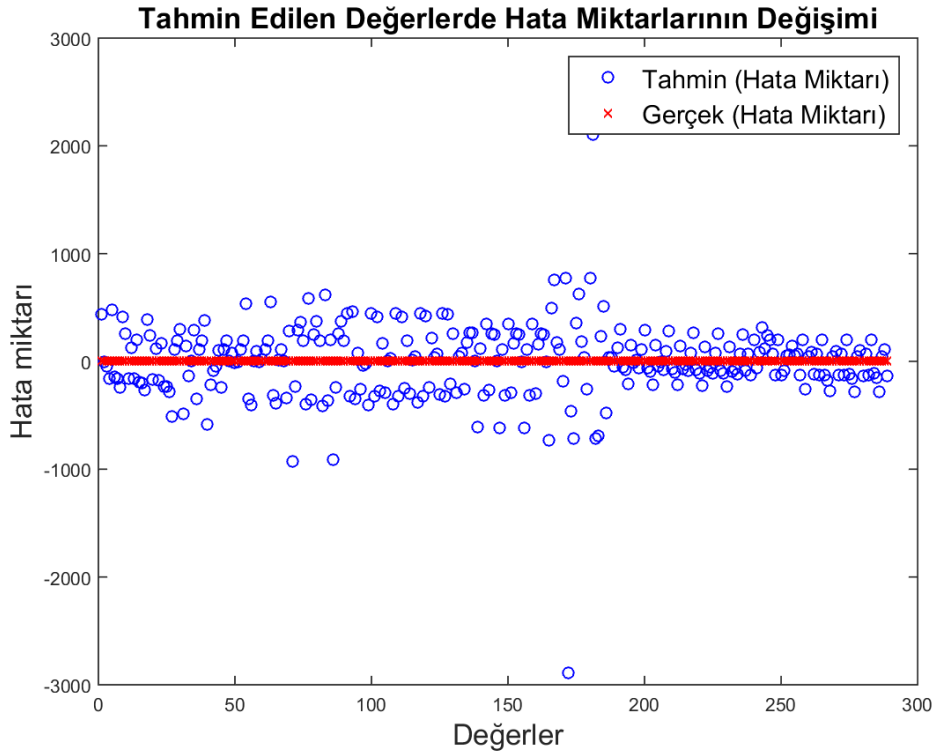
Şekil 4.58 Güçlendirici sayısı OfsetNum ile plak uzunluğu (L_x) arasındaki ilişki

Şekil 4.58'da plak uzunluğu L_x 'deki artışın güçlendirici sayısı OfsetNum ile belirli bir kritik değere kadar doğru orantı içerisinde olduğunu ancak L_x 'in ~1,5 metre mesafesinden sonra maksimum OfsetNum sayısı ile ters orantı içerisinde olduğu görülmektedir.



Şekil 4.59 GPE boyutsal parametreleri olan t_p , t_w , L_x , L_y , L_z 'nin sistemin doğal frekansı üzerindeki katkıları

Şekil 4.59’de ise güçlendirici sayısı OfsetNum haricindeki tüm parametreler tek bir grafik üzerinde gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere plak eleman uzunluğu L_x için 1,4-1,6; plak eleman genişliği L_z için 0,3-0,4 m değer aralıkları kritik aralıklar olarak gözlemlenmiş ve bu aralıklardaki değerlerde bu iki boyutsal parametrenin sistemin doğal frekansını azaltıcı yönde etki gösterdiği gözlemlenmiştir. Daha önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi çok sayıda parametrenin tek bir lineer modelde kullanılması doğal olarak bazı karmaşıklıkları da beraberinde getirmektedir. Bu durumda hata payını minimize edebilmek için kullanılan parametre sayısının artırılması ve/veya polinom derecesinin yükseltilmesi yoluna gidilebileceği gibi lineer model yerine başka bir regresyon modeli de düşünülebilir. Grafikte sistemin doğal frekansına en büyük katkıyı güçlendirici yüksekliği L_y ’nin yaptığı görülürken plak uzunluğu L_x ’in de kritik bir değerden sonra doğal frekansını azaltabileceği görülmüştür.



Şekil 4.60 Altıncı durum için tahmin edilen hata miktarlarının gerçek değerlerle kıyaslanması

Şekil 4.60’de tahmin edilen hata miktarlarındaki değişim gösterilmektedir. Grafikte tüm datalar göz önüne alındığında hata miktarının her bir veri aralığı için benzer miktarda yaklaşım gösterdiği görülmektedir.

5 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Bu tez çalışmasında, serbest titreşim yapan bir GPE modelini temsil eden boyut parametreleri farklı kombinasyonlar halinde ele alınmış ve boyutsal parametreler arasında ilişkilendirme incelenmiştir. Bu amaçla, serbest titreşim yapan bir GPE modelinin yapısal analiz sonuçları ANSYS sonlu elemanlar programı kullanılarak elde edilmiştir. Yapısal analizlerden elde edilen doğal frekans değerleri, MATLAB programına aktarılarak GPE elemana ait boyutsal parametreler ile birlikte 6 farklı durum için oluşturulan lineer regresyon modellerinin analizleri sonucunda boyutsal parametreler arasındaki ilişki yorumlanmıştır. Tez çalışması sonucu elde edilen sonuçlar ve bazı öneriler aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

1. Lineer regresyon modelinde kullanılan polinom fonksiyonun derecesinin artırılması GPE elemana ait boyutsal parametrelerin tahmininde olumlu katkı sağladığı gözlemlenmiştir. Polinomun derecesi ve değişken boyutsal parametre sayısının artmasının bilgisayarın işlem yükünü artırdığı gözlemlenmiştir.
2. Doğal frekans üzerine etki eden boyutsal parametrelerden herhangi birisindeki değişimin diğer parametreler üzerindeki etkileşimi, elde edilen lineer regresyon modeli dikkate alınarak:

i) Birinci Durumda; Plak kalınlığı t_p 'deki artışın sistemin doğal frekansını artırıcı yönde katkıda bulunduğu gözlemlenmiştir.

ii) İkinci Durumda; Plak kalınlığı t_p ve güçlendirici plak kalınlığı t_w 'nin doğal frekans üzerindeki birlikte katkıları değerlendirildiğinde, bu iki boyutsal parametredeki artışın belirli bir kritik değer aralığı (t_p için $3-5 \times 10^{-3}$ ve t_w için $4-5 \times 10^{-3}$) sonrasında, doğal frekansı azalttığı görülmüştür.

iii) Üçüncü Durumda; Plak kalınlığı t_p , güçlendirici plak kalınlığı t_w ve güçlendirici plak yüksekliği L_y 'nin doğal frekans üzerindeki etkileri incelendiğinde güçlendirici yüksekliği olan L_y ve GPE kalınlığı t_w 'nin doğal frekansı artırdığı, plak eleman kalınlığı t_p 'deki artışa bağlı olarak $4-6 \times 10^{-3}$ değerleri arasında sistemin doğal frekansını azalttığı gözlemlenmiştir.

iv) Dördüncü Durumda; Plak kalınlığı t_p , güçlendirici plak kalınlığı t_w , güçlendirici plak yüksekliği L_y ve güçlendirici sayısı OfsetNum'ın doğal frekans üzerindeki birlikte katkısı incelendiğinde, yalnızca plak kalınlığı olan t_p 'deki artışın sistemin doğal frekansı üzerinde olumlu bir katkısının olduğu, diğer değişken boyutsal parametrelerin doğal frekans üzerinde katkılarının az olduğu gözlemlenmiştir.

v) Beşinci Durumda; Plak kalınlığı t_p , güçlendirici plak kalınlığı t_w , güçlendirici plak yüksekliği L_y , güçlendirici sayısı OfsetNum ve plak uzunluğu L_x 'in sistemin doğal frekansı üzerinde birlikte katkısı incelendiğinde; güçlendirici sayısı OfsetNum ve plak kalınlığı t_p 'deki artışın sistemin doğal frekansını artırıcı yönde etki yaptığı, GPE kalınlığı t_w 'nin $5-6 \times 10^{-3}$ ve plak eleman uzunluğu L_x 1-1,2 sonrasında doğal frekansı azalttığı görülmüştür.

vi) Altıncı Durumda; Plak kalınlığı t_p , güçlendirici plak kalınlığı t_w , güçlendirici plak yüksekliği L_y , plak uzunluğu L_x 've plak genişliği L_z 'nin doğal frekans üzerindeki birlikte katkıları göz önüne alındığında L_y 'deki artışın doğal frekans değerini artırdığı, plak eleman uzunluğu L_x 'deki artışa bağlı olarak 1,4-1,6, plak eleman genişliği L_z için ise 0,3-0,4 değer aralıklarının kritik değerler olduğu ve bu aralıklardan sonra bu iki boyutsal parametrenin doğal frekansı azalttıkları gözlemlenmiştir.

4. Lineer regresyon analizinde elde edilen sonuçlara göre, değişken boyutsal parametre sayısındaki artışın elde edilen lineer regresyon modelinin doğruluk derecesini düşürdüğü, istatistiksel analiz sonucunda elde edilen determinasyon katsayısındaki ($R_squared$) küçülmeye bağlı olarak, gözlemlenmiştir.

5. GPE elemana ait değişken boyutsal parametre sayısının artımının, sadece elde edilen lineer regresyon analiz istatistiksel sonuçları dışında, gerçek verilerin elde edilen lineer regresyon modeline uygulaması sonuçlarına göre, elde edilen lineer regresyon modelinin doğruluk derecesini düşürdüğü gösterilmiştir.

6. Değişken boyutsal parametrelerin ilişkilendirmesinde kullanılan data sayısının artırılması lineer regresyon modelin geliştirilmesi de büyük bir fayda sağlayacağı kesindir

5.2 Öneriler

1. Değişken boyutsal parametrelerin ilişkilendirmesinde kullanılan data sayısının artırılarak lineer regresyon modelin geliştirilmesindeki katkı incelenebilir.
2. Değişken boyutsal parametrelerin ilişkilendirmesinde farklı regresyon modellerinin uygulamasının sonuçlara katkısı incelenebilir.

KAYNAKLAR

- A. Deb and M. Booton, Finite element models for stiffened plates under transverse loading. *Comput. Struct.* 28, 361-372 (1988).
- ANSYS Mechanical APDL 14.5
- A. Mukherjee and M. Mukhopadhyay. Finite element free vibration of eccentrically stiffened plates. *Comput. Struct.* 30, 1303-1317 (1988).
- A.H. Sheikh, M. Mukhopadhyay, Analysis of stiffened plate with arbitrary planform by the general spline finite strip method, *Comput. & Structures* 42 (1992) 57–63.
- A.N. Nayak and J.N. Bandyopadhyay. On the free vibration of stiffened shallow shells. *Journal of Sound and Vibration*, 255(2):357–382, 2002
- B. A. J.Mustafa and R. Alı 1987 *Computers and Structures* 27, 803-810. Free vibration analysis of multi-symmetric stiffened shells
- Barbosa,A.F.ve Ribeiro,G.O, (1998) Analysis of Reinforced concrete Structures Using ANSYS as Nonlinear Concrete Model, *Computational Mechanics Teknik Dergi, İspanya*(1998)
- Brosowski B, Ghavami K. (1997) Multi-Criteria Optimal Design of Stiffened Plates. Part II, Mathematical Modelling of the Optimal Design of Longitudinally Stiffened Plates. *Thin Walled Structures.* 28(2): 179-198.
- Brown, S. H. 2009. “Multiple Linear Regression Analysis : A Matrix Approach with MATLAB”, *Alabama Journal of Mathematics*, Spring/Fall 2009.
- Chen Q, Zimmerman TJE, DeGeer D, Kennedy BW. Strength and stability testing of stiffened plate components. *Ship structural committee report SSC-399.* 1997.
- “Epoksi Boya”, Erişim Adresi: http://www.epoksiboyakumlama.com/etiket/tunel_kalip_kumlama_boya/, Erişim Tarihi: 07.07.2015
- G. Aksu, R. Ali, Free vibration analysis of stiffened plates using finite difference method, *Journal of Sound and Vibration* 48 (1976) 15–25.
- G. H. Golub and R. R. Underwood. The block Lanczos method for computing eigenvalues. In J. R. Rice, editor, *Mathematical Software III*, pages 361–377. Academic Press, New York, 1977.
- Ghavami, K., Khedmati, M. R. 2006. “Numerical and experimental investigations on the compression behaviour of stiffened plates”, *Journal of Constuctional Steel Research*, 62, 1087-1100.

- Ghavami, K., Khedmati, M. R. 2006. "Numerical and experimental investigations on the compression behaviour of stiffened plates", *Journal of Constuctional Steel Research*, 62, 1087-1100.
- Grondin GY, Elwi AE, Cheng JJR. Buckling of stiffened plates a parametric study. *Journal of Constructional Steel Research* 1999;50: 151–75.
- H.A. Schade, The orthogonally stiffened plate under uniform lateral load, *Journal of Applied Mechanics* 62 (1940) 143–146.
- Holopainen, T. P. 1994. "Finite Element Free Vibration Analysis of eccentrically stiffened plates", *Computers d Strurrures* Vol.,56, 993-1007.
- Hu SZ, Jiang L. A finite element simulation of the test procedure of stiffened plates. *Journal of Marine Structures* 1998;11:75–99.
- J. N. Reddy, Free vibration of antisymmetric, angle-ply laminated plate including transverse shear deformation by finite element method. *J. Sound Vibr.* 66, 565-576 (1979)
- J.M. Klitchieff, On the stability of plates reinforced by longitudinal ribs, *Journal of Applied Mechanics* 73 (1973) 364–366
- M. Barik, M. Mukhopadhyay, A new stiffened plate element for them analysis of arbitrary plates, *Thin-Walled Structures* 40 (2002) 625–639.
- M. D. Olson and C. R. Hazell, Vibration studies on some integral rib stiffened plates. *J. Sound Vibr.* 50, 43-61 (1977).
- M. Guo, I.E. Harik, Stability of eccentrically stiffened plates, *Thin-Walled Structures* 14 (1992) 1–20.
- M. L. Accorsı and M. S. Bennett 1991 *Journal of Sound and Vibration* 148, 279-292. A Finite element based method for the analysis of free wave propagation in stiffened cylinders.
- M. Mukhopadhyay and A. Mukherjee, Recent advances on the dynamic behavior of stiffened plates. *Shock Vibr. Dig.* 21, 69 (1989).
- M.J. Chen, L.G. Tham, Y.K. Cheung, Spline finite strip for parallelogram plate, *Proceedings of the International Conference on ARFEC, Lisbon* (1984) 95–104.
- Mukhopadhyay M., 'Stiffened plates in bending. *Comput Struct*', 1994;50(4): 541 8.

- Ohseop, S., Modal Analysis of A Centilever Plate, Faculty of the Graduate School of the New Jersey Institute of Technology, Master Thesis, New Jersey, 18-19,1986
- P. A. Thompson, P. Bettess and J. B. Caldwell, An isoparametric eccentrically stiffened plate bending element. *Engng Comput.* 5, 110-116 (1989).
- Qiang Ye. An adaptive block Lanczos algorithm. *Numerical Algorithms*, 12:97–110, 1996.
- Ramakrishnan R, Kunukkaseril VX. Free vibration of stiffened circular bridge deck. *J Sound Vib* 1976;44:209–21.
- Rao, P.S., Sinha, G., Mukhopadhyay, M., 1993. Vibration of submerged stiffened plates by finite element method. *Int. Shipbuilding Progr.* 40 (423), 261–292.
- S. P. Cheng and C. Dade 1990 *Computers and Structures* 36, 623-629. Dynamic analysis of stiffened plates and shells using spline Gauss collocation method.
- Samanta A, Mukhopadhyay M. Free vibration analysis of stiffened shells by finite element technique. *Eur J Mech A/Solids* 2004;23:159–79.
- Sheikh IA, Elwi AE, Grondin GY. Stiffened steel plates under combined compression and bending. *Journal of Constructional Steel Research* 2003; 59:911–30.
- Sinha, G., Mukhopadhyay, M., 1994. Finite element free vibration analysis of arbitrary stiffened shells. *J. Sound Vib.* 171 (4), 529–548.
- T. Koko and M. Olson 1992 *Journal of Acoustical Societies of America* 158, 149-167. Vibration
- “Tünel Kalıp”, Erişim Adresi: <http://www.tunelkalip.com.tr/tunel-kalip-sistemleri.html>, Erişim Tarihi: 07.07.2015
- Topçu ,M. ve Taşgetiren, S.(1998).Mühendisler için Sonlu Elemanlar Metodu, PAÜ as Mühendislik Fakültesi Matbâsı, Ders kitapları, Denizli(1998).
- “TWI”, Erişim Adresi: <http://www.twi-global.com/technical-knowledge/published-papers/ndyag-//laser-welding-of-a-stiffened-panel-demonstration-component-august-2001/>, Erişim Tarihi: 07.07.2015
- W.Y. Li, Y.K. Cheung, L.G. Tham, Spline Finite strip analysis of general plates, *Proc. ASCE J. Eng. Mech. Div.* 112 (1986) 43–54.
- Y.K. Cheung, S.C. Fan, C.Q. Wu, Spline Finite strip in structural analysis, *Proceedings of the International Conference on Finite Element*, Shanghai (1982) 704–709.

Y.O. Yıldız., Desteklenmiş Kompozit Plakların Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Burkulma Analizi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara,2007

Z. Mecitoglu and M. C. Dokmeci 1991 AIAA Journal 30, 848-850. Free vibrations of a thin, stiffened, cylindrical shallow Shell

ÖZGEÇMİŞ

1. Adı Soyadı : Murat ÇELİK
2. Doğum Tarihi : 30/08/1986
3. Ünvanı : Araştırma Görevlisi
4. Öğrenim Durumu : Yüksek Lisans

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Bitirme Yılı
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Atatürk Üniversitesi	2010
Yüksek Lisans	İnşaat Mühendisliği	Osmaniye Korku Ata Ü.	-

5. Akademik Ünvanlar:

Görevi	Bölümü	Kurumu	Yıl
Araştırma Görevlisi	İnşaat Mühendisliği	Osmaniye Korku Ata Üniversitesi	2013

6. İş Tecrübesi:

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Araştırma Görevlisi	Osmaniye Korku Ata Üniversitesi	2013-

7. Yayınlar:

8. Yazılan uluslar arası kitaplar veya kitaplarda bölümler:

9. Ulusal hakemli dergilerde yayımlanan makaleler:

10. Ulusal bilimsel toplantılarda sunulan ve bildiri kitabında basılan bildiriler:

11. Diğer yayınlar:

12. Projeler:

13. Bilimsel Kuruluşlara Üyelikler:

14. Ödüller:

EKLER

No terms to add to or remove from initial model.

mdl2 =

Linear regression model:

frequency ~ 1 + twMat^2 + twMat*tpMat + tpMat^2

Estimated Coefficients:

	Estimate	SE	tStat	pValue
(Intercept)	1593.49284160094	13.1152005260964	121.499693308557	0
twMat	72312.0407995025	3672.35843022537	19.690899505979	3.84259339798973e-64
tpMat	16510.2087792335	3256.45983620424	5.06998692128135	5.63546983717029e-07
twMat^2	-7987868.87650062	302688.177569931	-26.3897617033792	2.10522635127697e-96
twMat:tpMat	6509330.49719153	249684.49526854	26.0702231037238	7.02704592174722e-95
tpMat^2	-4681511.90984838	261601.67605122	-17.8955730732084	1.41037861954341e-55

Number of observations: 500, Error degrees of freedom: 494

Root Mean Squared Error: 42.5

R-squared: 0.835, Adjusted R-Squared 0.833

F-statistic vs. constant model: 499, p-value = 1.79e-190

Şekil B.1 İkinci durum için oluşturulan (4.7) numaralı regresyon denkleminde ait lineer regresyon Analizi

No terms to add to or remove from initial model.

mdl3 =

Linear regression model:

frequency ~ 1 + twMat^2 + twMat*tpMat + tpMat^2 + twMat^3 + (twMat^2):tpMat + twMat:(tpMat^2) + tpMat^3

Estimated Coefficients:

	Estimate	SE	tStat	pValue
(Intercept)	1452.90531308966	13.8998114778086	104.526979765823	0
twMat	144663.157140284	6505.42259922885	22.2373189341201	2.92173771158149e-76
tpMat	79304.1015058103	5593.31065708277	14.17838313797	1.75568046795801e-38
twMat^2	-29698714.7786312	1146843.35780336	-25.8960516068346	8.42159318990033e-94
twMat:tpMat	14599913.628822	820908.449734744	17.7850692528985	5.80323416596714e-55
tpMat^2	-20947696.4794734	961778.04281307	-21.7801774910605	4.64979504155476e-74
twMat^3	1696845281.95843	66495029.2457237	25.5183778578089	5.28867920841425e-92
twMat^2:tpMat	-1143109318.2152	53808729.4117902	-21.2439381251163	1.77585676305022e-71
twMat:tpMat^2	407601760.794243	50394813.2949221	8.08816888374728	4.79471543775674e-15
tpMat^3	849962114.257982	55226413.7111401	15.3904998920205	6.91501395738146e-44

Number of observations: 500, Error degrees of freedom: 490

Root Mean Squared Error: 21.7

R-squared: 0.957, Adjusted R-Squared 0.956

F-statistic vs. constant model: 1.22e+03, p-value = 0

Şekil B.2 İkinci durum için oluşturulan (4.8) numaralı regresyon denkleminde ait lineer regresyon Analizi

1. Removing (twMat^2):(tpMat^2), FStat = 1.7615, pValue = 0.18506

mdl4 =

Linear regression model:

frequency ~ [Linear formula with 14 terms in 2 predictors]

Estimated Coefficients:

	Estimate	SE	tStat	pValue
(Intercept)	1308.35105101948	16.2571782410596	80.4783604890962	4.27240019655726e-283
twMat	201441.215729531	11533.1087871024	17.4663414217341	2.23808374096123e-53
tpMat	202057.78157702	9544.72008240313	21.1695869373413	5.72994898580872e-71
twMat^2	-54723118.8303071	3377481.93153762	-16.2023424372234	1.60713361582925e-47
twMat:tpMat	13206718.7208287	1623989.22580224	8.1322699134932	3.53781518206809e-15
tpMat^2	-59054317.0820691	2809174.63381443	-21.0219458666699	2.92287546945475e-70
twMat^3	6395046257.51212	415554118.336473	15.3892019723267	8.05519609535046e-44
twMat^2:tpMat	-4411963041.68887	246517080.83421	-17.8971900314528	2.13903484674895e-55
twMat:tpMat^2	4064902544.21186	222045793.656081	18.3065955777926	2.52375876115373e-57
tpMat^3	4527523608.09013	345893694.458241	13.089349937938	9.5267360239193e-34
twMat^4	-263082676517.192	18422195373.0937	-14.2807451114884	6.95773697639769e-39
twMat^3:tpMat	198112346877.195	14794365900.2338	13.3910671273896	4.97501549316939e-35
twMat:tpMat^3	-221654592934.399	13315027141.912	-16.6469501392672	1.44290125326364e-49
tpMat^4	-111748237849.679	15282050361.1186	-7.31238513216752	1.08880010609707e-12

Number of observations: 500, Error degrees of freedom: 486

Root Mean Squared Error: 13.9

R-squared: 0.983, Adjusted R-Squared 0.982

F-statistic vs. constant model: 2.12e+03, p-value = 0

Şekil B.3 İkinci durum için oluşturulan (4.9) numaralı regresyon denkleminin ait lineer regresyon Analizi

6. Removing tpMat^5, FStat = NaN, pValue = NaN

7. Removing (twMat^2):(tpMat^2), FStat = 1.7615, pValue = 0.18506

mdl5 =

Linear regression model:

frequency ~ [Linear formula with 14 terms in 2 predictors]

Estimated Coefficients:

	Estimate	SE	tstat	pValue
(Intercept)	1308.35105101948	16.2571782410596	80.4783604890962	4.27240019655726e-283
twMat	201441.215729531	11533.1087871024	17.4663414217341	2.23808374096123e-53
tpMat	202057.78157702	9544.72008240313	21.1695869373413	5.72994898580872e-71
twMat^2	-54723118.8303071	3377481.93153762	-16.2023424372234	1.60713361582925e-47
twMat:tpMat	13206718.7208287	1623989.22580224	8.1322699134932	3.53781518206809e-15
tpMat^2	-59054317.0820691	2809174.63381443	-21.0219458666699	2.92287546945475e-70
twMat^3	6395046257.51212	415554118.336473	15.3892019723267	8.05519609535046e-44
twMat^2:tpMat	-4411963041.68887	246517080.83421	-17.8971900314528	2.13903484674895e-55
twMat:tpMat^2	4064902544.21186	222045793.656081	18.3065955777926	2.52375876115373e-57
tpMat^3	4527523608.09013	345893694.458241	13.089349937938	9.5267360239193e-34
twMat^4	-263082676517.192	18422195373.0937	-14.2807451114884	6.95773697639769e-39
twMat^3:tpMat	198112346877.195	14794365900.2338	13.3910671273896	4.97501549316939e-35
twMat:tpMat^3	-221654592934.399	13315027141.912	-16.6469501392672	1.44290125326364e-49
tpMat^4	-111748237849.679	15282050361.1186	-7.31238513216752	1.08880010609707e-12

Number of observations: 500, Error degrees of freedom: 486

Root Mean Squared Error: 13.9

R-squared: 0.983, Adjusted R-Squared 0.982

F-statistic vs. constant model: 2.12e+03, p-value = 0

Şekil B.4 İkinci durum için oluşturulan (4.10) numaralı regresyon denkleminin ait lineer regresyon Analizi

1. Removing LyMat², FStat = 0.32598, pValue = 0.5684
2. Removing LyMat:twMat, FStat = 0.45731, pValue = 0.49932

mdl2 =

Linear regression model:

frequency ~ 1 + twMat² + LyMat*tpMat + twMat*tpMat + tpMat²

Estimated Coefficients:

	Estimate	SE	tStat	pValue
(Intercept)	-66.0783278535019	13.6077386495793	-4.85593745993533	1.79552988731882e-06
LyMat	17515.1779452391	138.726377528379	126.257012237316	2.60723072083283e-298
twMat	44738.3062187113	3577.65235463132	12.5049339019195	5.24376527019494e-30
tpMat	-27228.5168097657	3364.07342738676	-8.09391275116042	9.17939949039895e-15
twMat ²	-4464202.04816122	315093.32083044	-14.1678726683119	1.8191433176551e-36
LyMat:tpMat	203108.644601095	26948.143152227	7.53701817055659	4.00068221008627e-13
twMat:tpMat	4426181.55295839	293857.21030211	15.0623547688617	4.91955265999919e-40
tpMat ²	-1474120.25767183	281778.540993637	-5.23148516730064	2.87276722650069e-07

Number of observations: 365, Error degrees of freedom: 357

Root Mean Squared Error: 41.7

R-squared: 0.994, Adjusted R-Squared 0.994

F-statistic vs. constant model: 8.6e+03, p-value = 0

Şekil B.5 Üçüncü durum için oluşturulan (4.13) numaralı regresyon denkleminin ait lineer regresyon Analizi

Linear regression model:

frequency ~ [Linear formula with 20 terms in 3 predictors]

Estimated Coefficients:

	Estimate	SE	tStat	pValue
(Intercept)	-7.22041082119443	21.7682034849583	-0.331695301644148	0.740320753072585
LyMat	15438.891915221	786.151900060455	19.6385608354235	3.56380545084375e-58
twMat	49051.8507154688	8112.26293428824	6.04662978909874	3.84367739473616e-09
tpMat	-42052.4801218355	7062.08220574675	-5.95468572818586	6.41818754697184e-09
LyMat ²	38663.8703970508	12959.9710896835	2.98332998812229	0.00305438726380409
LyMat:twMat	694991.472875387	101041.942439843	6.87824735049169	2.85779447964343e-11
twMat ²	-14522363.0281567	1346669.14994331	-10.7839130559782	1.46592214135581e-23
LyMat:tpMat	-191533.336743659	94043.7212308879	-2.0366414071751	0.0424491303591941
twMat:tpMat	14820848.2298088	1031412.09938082	14.3694729184446	5.05411250562892e-37
tpMat ²	-2983687.70893124	1277914.84388392	-2.33480949314511	0.0201264540013288
LyMat ³	-295101.364103258	73738.4742138995	-4.00199986844361	7.69097898359981e-05
LyMat ² :twMat	-3198902.31519965	624030.839828984	-5.12619266713856	4.93587312632212e-07
LyMat:twMat ²	-49357430.1445282	6499820.72240004	-7.59366023349382	2.94282796364966e-13
twMat ³	989287574.698714	77751256.3424396	12.7237503448381	1.13120977041609e-30
LyMat ² :tpMat	6380689.92646295	643584.830872014	9.91429508650405	1.49654008140192e-20
LyMat:twMat:tpMat	51580174.3097884	5953189.08714866	8.66429296209255	1.78599762338056e-16
twMat ² :tpMat	-940744224.349396	88692594.1507866	-10.6067956784535	6.15499301472382e-23
LyMat:tpMat ²	-63510844.0743944	5738229.06942078	-11.0680217373764	1.43340486279834e-24
twMat:tpMat ²	-175548888.953162	66926669.7196084	-2.62300350052721	0.0091025590328907
tpMat ³	374459640.876505	77079105.4133829	4.85812126215322	1.80120676017868e-06

Number of observations: 365, Error degrees of freedom: 345

Root Mean Squared Error: 24.8

R-squared: 0.998, Adjusted R-Squared 0.998

F-statistic vs. constant model: 8.97e+03, p-value = 0

Şekil B.6 Üçüncü durum için oluşturulan (4.14) numaralı regresyon denkleminin ait lineer regresyon Analizi

Linear regression model:
frequency ~ [Linear formula with 33 terms in 3 predictors]

Estimated Coefficients:

	Estimate	SE	tstat	pValue
(Intercept)	2.22815009680146	26.7518917457629	0.0832894405366441	0.933671591643833
LyMat	14863.9434664591	1397.91945524137	10.6329040709235	6.40503558736197e-23
twMat	38050.0880540387	14032.0114768026	2.71166312235009	0.00704309130844404
tpMat	-52886.5253761136	13327.6131766074	-3.9681918041364	8.87806839927388e-05
LyMat^2	103521.265606473	37246.2474908895	2.77937436870101	0.00575662324131537
LyMat:twMat	1885334.66369365	272403.835385135	6.9211017569855	2.32071317530507e-11
twMat^2	-21823549.352289	3703363.58589509	-5.89289948073362	9.3192742204769e-09
LyMat:tpMat	-1521511.20215501	211094.662260622	-7.20771991987421	3.8595146761757e-12
twMat:tpMat	21172248.1016696	2471997.9904644	8.56483224636119	4.11649470124466e-16
tpMat^2	3105442.57301907	4060660.23132863	0.764762968607935	0.444955944479423
LyMat^3	-1414655.70365299	446123.457794847	-3.1709960077991	0.00166081718980888
LyMat^2:twMat	-17620683.3219562	3169243.07379885	-5.5599027627865	5.55497340541146e-08
LyMat:twMat^2	-315653049.096617	32342225.0306776	-9.75978148680895	5.99324119906081e-20
twMat^3	3615243201.02125	444639744.231474	8.13072436264086	8.57554713560116e-15
LyMat^2:tpMat	31177922.582067	2928115.06673772	10.647779158762	5.68617902401549e-23
LyMat:twMat:tpMat	423649314.720231	25980909.8370528	16.3061770114009	2.5410438767478e-44
twMat^2:tpMat	-2872921629.73637	358590393.553732	-8.01170829275404	1.93724402240993e-14
LyMat:tpMat^2	-277015723.97091	25973969.1621415	-10.6651287002633	4.9485258275154e-23
twMat:tpMat^2	-1658198368.0753	319907309.332238	-5.18337130694688	3.79299380882319e-07
tpMat^3	999169969.576262	550757753.197616	1.81417322547932	0.0705536007752035
LyMat^4	4498129.84358923	1961110.53914307	2.29366461186565	0.0224340255616856
LyMat^3:twMat	82541240.8404928	15856673.8695548	5.20545743196332	3.39868780548091e-07
LyMat^2:twMat^2	746415855.627418	157199368.441785	4.74821154198108	3.05717377839884e-06
LyMat:twMat^3	15246473724.2789	1644605734.64968	9.27059501438902	2.41512151700398e-18
twMat^4	-182149861070.728	19841001232.2087	-9.18047728231762	4.71641340045467e-18
LyMat^3:tpMat	-79602621.8039687	16484414.4957113	-4.82896264375531	2.09852781887291e-06
LyMat^2:twMat:tpMat	-1813712139.87666	140543449.158332	-12.9049923759405	3.69377726148152e-31
LyMat:twMat^2:tpMat	-20333767368.9362	1840460515.17212	-11.0481953844223	2.24155674021289e-24
twMat^3:tpMat	135360954991.526	22476431996.6302	6.02235065653747	4.5576225977411e-09
LyMat:twMat:tpMat^2	8137022978.13613	1386704248.25933	5.86788638482229	1.06859940419163e-08
twMat^2:tpMat^2	87573963685.1677	22921593874.4344	3.82058787730478	0.000158900792458056
LyMat:tpMat^3	10025679276.894	1601568198.70239	6.25991405487251	1.18985044119903e-09
tpMat^4	-57649501303.911	25805709499.3457	-2.23398241793634	0.0261496909229548

Number of observations: 365, Error degrees of freedom: 332
Root Mean Squared Error: 15.2
R-squared: 0.999, Adjusted R-Squared 0.999
F-statistic vs. constant model: 1.43e+04, p-value = 0

Şekil B.7 Üçüncü durum için oluşturulan (4.15) numaralı regresyon denkleminde ait lineer regresyon Analizi

Linear regression model:
frequency ~ [Linear formula with 24 terms in 4 predictors]

Estimated Coefficients:

	Estimate	SE	tStat	pValue
(Intercept)	-8.66510494645623e-13	1.99909295303411e-05	-4.33451827905493e-08	0.999999965463283
LyMat	2.79832360138793e-12	0.000674375341341042	4.14950463020085e-09	0.99999996693744
OfsetNumMat	4.42878261388002e-13	1.64979183287407e-05	2.68444935029453e-08	0.999999978610757
twMat	-5.94381797213743e-11	0.00182344143565109	-3.25967034417812e-08	0.999999974027492
tpMat	1.00000000000001	1.59288762311424e-07	6277906.77439576	0
LyMat:OfsetNumMat	3.09734862485157e-12	0.000173214421511006	1.78815862895963e-08	0.999999985752251
LyMat:tpMat	-8.61737530557406e-14	2.29366400081363e-06	-3.75703472806707e-08	0.999999970064576
OfsetNumMat:tpMat	-9.20179118634558e-16	2.5516590619862e-08	-3.60619932475734e-08	0.999999971266407
twMat:tpMat	4.16915662525129e-13	1.2898842423059e-05	3.23219440048216e-08	0.999999974246416
OfsetNumMat^2	-1.00053707466206e-13	5.3423765320794e-06	-1.87283144243789e-08	0.999999985077592
tpMat^2	-4.58589363914942e-18	3.28491296961878e-10	-1.39604722607966e-08	0.999999988876529
LyMat:OfsetNumMat:tpMat	1.97123374744063e-15	2.58039900435597e-07	7.63925944829846e-09	0.99999993913166
LyMat:tpMat^2	9.50655341565792e-17	3.630657625534e-09	2.61841087653086e-08	0.99999997913694
OfsetNumMat^2:tpMat	7.20299293486144e-17	2.12685233474508e-09	3.3866915921946e-08	0.999999973015408
OfsetNumMat:tpMat^2	4.90317985991635e-19	2.05698136647052e-11	2.38367733409734e-08	0.999999981007258
twMat:tpMat^2	-4.16594126510399e-16	1.61632652408605e-08	-2.57741316684735e-08	0.999999979463603
OfsetNumMat^3	9.6406979128697e-15	7.0117701696176e-07	1.3749306779397e-08	0.999999989044782
tpMat^3	-3.51924838797532e-22	2.13057378285498e-13	-1.65178432978721e-09	0.999999998683886
LyMat:OfsetNumMat:tpMat^2	-3.56738950749268e-18	1.87367091011996e-10	-1.90395735356978e-08	0.999999984829586
OfsetNumMat^2:tpMat^2	-3.20294407176201e-21	6.22115913918421e-13	-5.14846831611837e-09	0.99999995997787
LyMat:tpMat^3	-1.11558543524933e-20	2.18796569958453e-12	-5.09873365684467e-09	0.99999995937414
OfsetNumMat^3:tpMat	-4.31926670880667e-18	1.14198580100718e-10	-3.78224204276207e-08	0.999999969863728
twMat:tpMat^3	1.0222669521889e-19	5.39717981439338e-12	1.89407614225245e-08	0.999999984908318
OfsetNumMat^4	-3.28358709159671e-16	3.1928492886045e-08	-1.02841906860936e-08	0.999999991805729

Number of observations: 205, Error degrees of freedom: 181
Root Mean Squared Error: 1.81e-05
R-squared: 1, Adjusted R-Squared 1
F-statistic vs. constant model: 1.26e+16, p-value = 0

Şekil B.8 Dördüncü durum için oluşturulan (4.18) numaralı regresyon denkleminde ait lineer regresyon Analizi

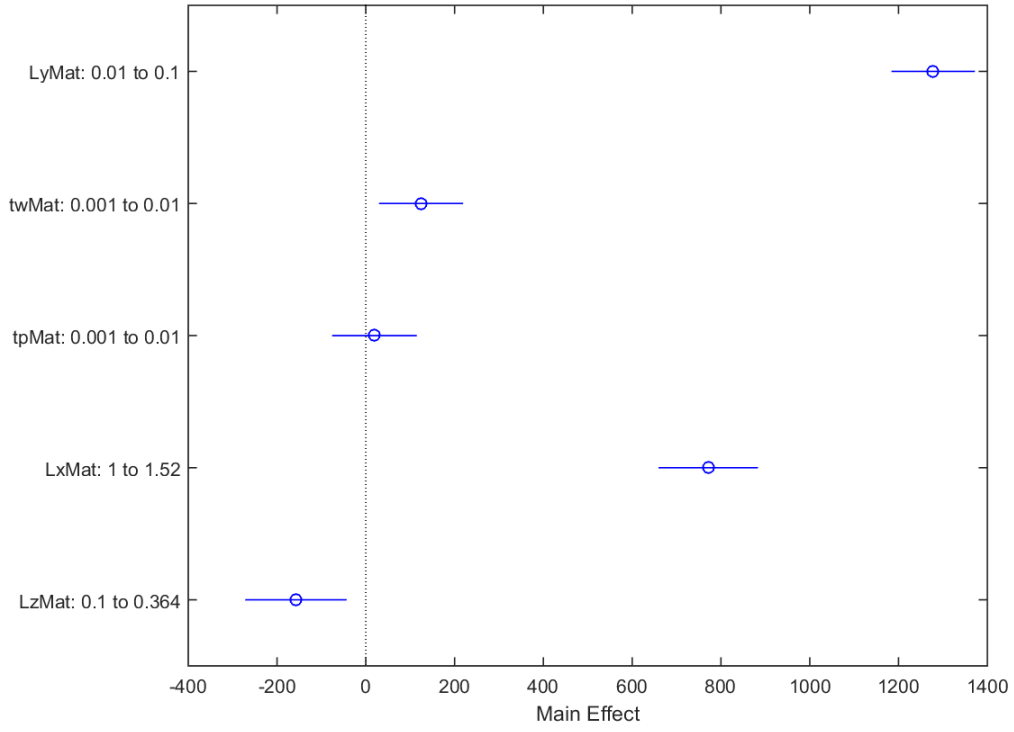
Linear regression model:
frequency ~ [Linear formula with 52 terms in 5 predictors]

Estimated Coefficients:

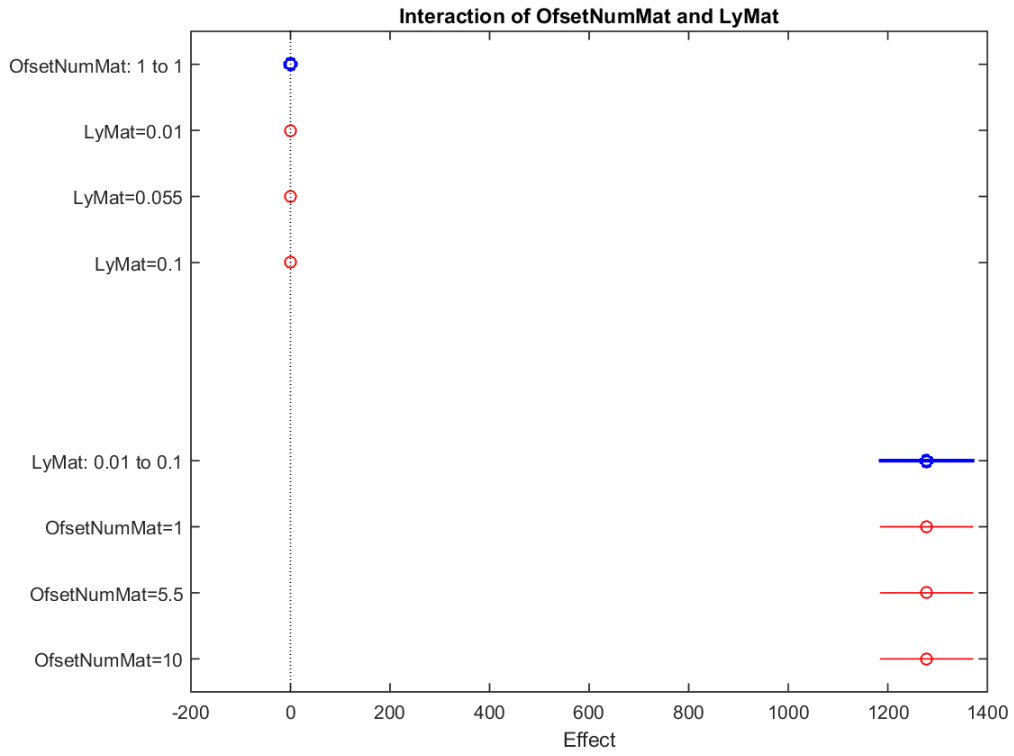
	Estimate	SE	tStat	pValue
(Intercept)	10878.3731101579	2852.48078445984	3.81365342386272	0.000174680574028735
LyMat	29820.2007978296	25365.2436975764	1.175632339802	0.240921470084693
twMat	1497353.75151622	293676.848286089	5.09864417387628	6.99949025059813e-07
tpMat	-1252965.00105848	257090.070746663	-4.87364213413422	2.00650093073923e-06
LxMat	-13974.5075723945	3862.10124648361	-3.61836903812868	0.000362344484397258
LzMat	-72454.8035150931	15723.0611838662	-4.60818683256418	6.63827389699768e-06
twMat:twMat	-3326059.37787443	2369565.61678042	-1.40365784948957	0.161729674195186
LyMat:tpMat	-6362201.61149967	1248045.77668452	-5.0977309729785	7.02997164069617e-07
twMat:tpMat	-77198035.7457096	24089918.6808536	-3.20459181401253	0.00153841302303531
LyMat:LxMat	12225.2353606852	33388.5733348459	0.366150276565617	0.714579576939798
twMat:LxMat	-2124000.7741242	388535.919053806	-5.46667803403284	1.16014264214351e-07
tpMat:LxMat	1594742.87897828	336183.076675485	4.74367387778318	3.662730642549271e-06
LxMat^2	4112.09397269534	1281.14349743766	3.20970600164594	0.00151243460019201
LyMat:LzMat	-553874.602354832	90478.966665233	-6.12158408488612	3.81063461734049e-09
twMat:LzMat	-3233789.78839086	919482.65493391	-3.51696660185863	0.000523008508728716
tpMat:LzMat	7435962.90758009	939851.905701277	7.91184532634606	9.66961481632181e-14
LxMat:LzMat	98502.2433350995	20774.8083407817	4.7414272959494	3.662730642549271e-06
LzMat^2	89132.8870718334	23859.4192795583	3.73575257752391	0.000234535268682158
LyMat:twMat:tpMat	-792923074.627263	113406756.856341	-6.99185036771403	2.74178574075395e-11
LyMat:twMat:LxMat	11926203.847619	3066982.3895822	3.88857917415157	0.000130987490317785
LyMat:tpMat:LxMat	3652432.20785046	749754.410352676	4.8715047986612	2.0263302402624e-06
twMat:tpMat:LxMat	123374723.130664	30837917.3336583	4.00074757953922	8.44397428888319e-05
LyMat:LxMat^2	-12772.4194396001	10941.4302584401	-1.16734459187797	0.24424435272562
twMat:LxMat^2	715010.236513665	127401.306830903	5.61226767840525	5.55838097670446e-08
tpMat:LxMat^2	-447562.237771962	110344.65168208	-4.05603924654439	6.77651066595581e-05
LyMat:twMat:LzMat	-19799464.8995557	2931172.40722688	-6.75479369645389	1.09633541324593e-10
LyMat:tpMat:LzMat	39213046.127484	4742172.31154718	8.26900490983853	9.71972815738036e-15
twMat:tpMat:LzMat	-16067977.1474394	47130018.4012041	-0.340928726372594	0.733459274045903
LyMat:LzMat^2	448734.698027937	92396.667255797	4.85661129730611	2.16985991731889e-06
twMat:LzMat^2	3639840.04865222	929057.733150404	3.91777595597816	0.00011695056541401
tpMat:LzMat^2	-8889019.74253569	933313.99018855	-9.52414711017019	2.04478885878953e-18
LxMat^2:LzMat	-29805.0814231827	6801.2979515664	-4.38226374369003	1.76525810618356e-05
LyMat:LzMat^2	477562.471738169	108600.157512634	4.39743811313176	1.65497279121661e-05
twMat:LzMat^2	2760085.40020511	1105919.90847681	2.49573714972416	0.0132506711801168
tpMat:LzMat^2	-4332378.62109586	1151916.35084507	-3.76101842630979	0.00021327066939233
LxMat:LzMat^2	-122227.27805844	31533.1296598456	-3.87615436136314	0.000137433244074774
LyMat:twMat:tpMat:LxMat	382718484.770989	65815922.5355813	5.81498321419235	1.95038307328622e-08
LyMat:twMat:LxMat^2	-5163633.71165264	998787.852695179	-5.16990039247958	4.97790486331544e-07
twMat:tpMat:LxMat^2	-46552720.7526116	10066933.1305011	-4.62432005349919	6.1816343559183e-06
LyMat:twMat:tpMat:LzMat	313958962.555963	164282376.734468	1.91109337956207	0.0571990180995557
LyMat:twMat:LxMat:LzMat	10170015.3447355	1817877.37829271	5.59444518435387	6.08680702374968e-08
LyMat:tpMat:LxMat:LzMat	-18466321.3221405	1799798.07547954	-10.2602183954555	1.12407778848039e-20
twMat:tpMat:LxMat:LzMat	50812520.0870374	18097497.3769734	2.80770976387538	0.00540507870888786
LyMat:LxMat^2:LzMat	-77726.0634415019	27219.9289236359	-2.85548370311908	0.00467821525820022
twMat:LxMat^2:LzMat	-1110524.89247937	273482.1367806624	-4.06068529933208	6.65168573151076e-05
tpMat:LxMat^2:LzMat	-1110524.89247937	273482.1367806624	-4.06068529933208	6.65168573151076e-05
tpMat:LxMat^2:LzMat	2235573.78705993	275200.628682915	8.12343270347596	2.4956407021491e-14
LyMat:tpMat:LzMat^2	-16353692.8761068	6136844.47984924	-2.66483743067065	0.00823180720481615
twMat:tpMat:LzMat^2	-112215964.507339	61698335.0446433	-1.81878432256142	0.07020640717134031
LyMat:LxMat:LzMat^2	-234774.967056028	67221.3900648384	-3.49256340622495	0.000570606436118553
twMat:LxMat:LzMat^2	-1234858.48850559	684785.841014626	-1.80327689993698	0.0726147790061248
tpMat:LxMat:LzMat^2	3447397.32807502	681265.90907558	5.06028157603372	8.39709288611283e-07
LxMat^2:LzMat^2	36435.4600963765	10304.6707397882	3.53581992248356	0.000488813127189316

Number of observations: 289, Error degrees of freedom: 237
Root Mean Squared Error: 387
R-squared: 0.905, Adjusted R-Squared 0.885
F-statistic vs. constant model: 44.3, p-value = 1.55e-95

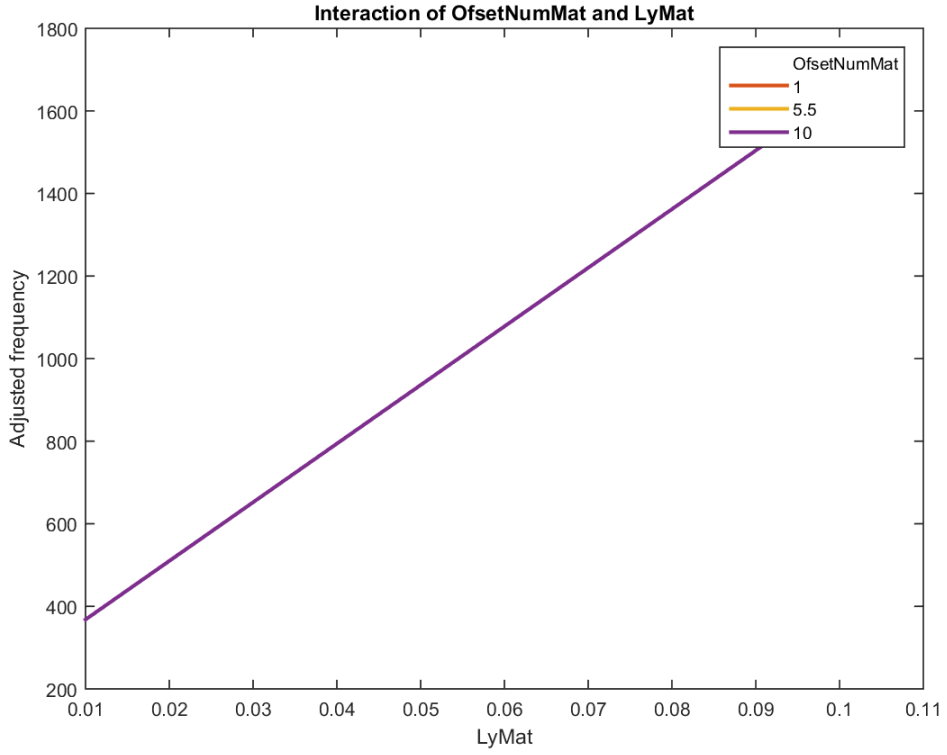
Şekil B.10 Altıncı durum için oluşturulan (4.20) numaralı regresyon denkleminde ait lineer regresyon Analizi



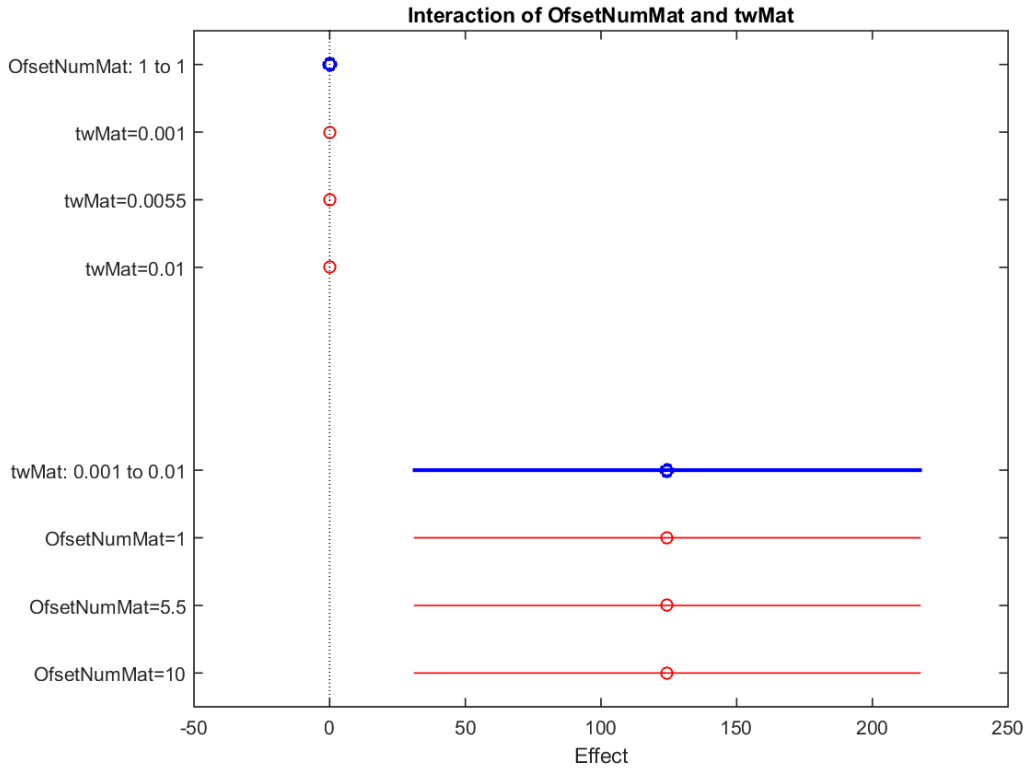
Şekil B.11 Plak kalınlığı (tp), güçlendirici kalınlığı (tw), güçlendirici plak yüksekliği (Ly) ve plak uzunluğu (Lx) ve plak genişliği (Lz)'nin doğal frekans üzerindeki katkıları



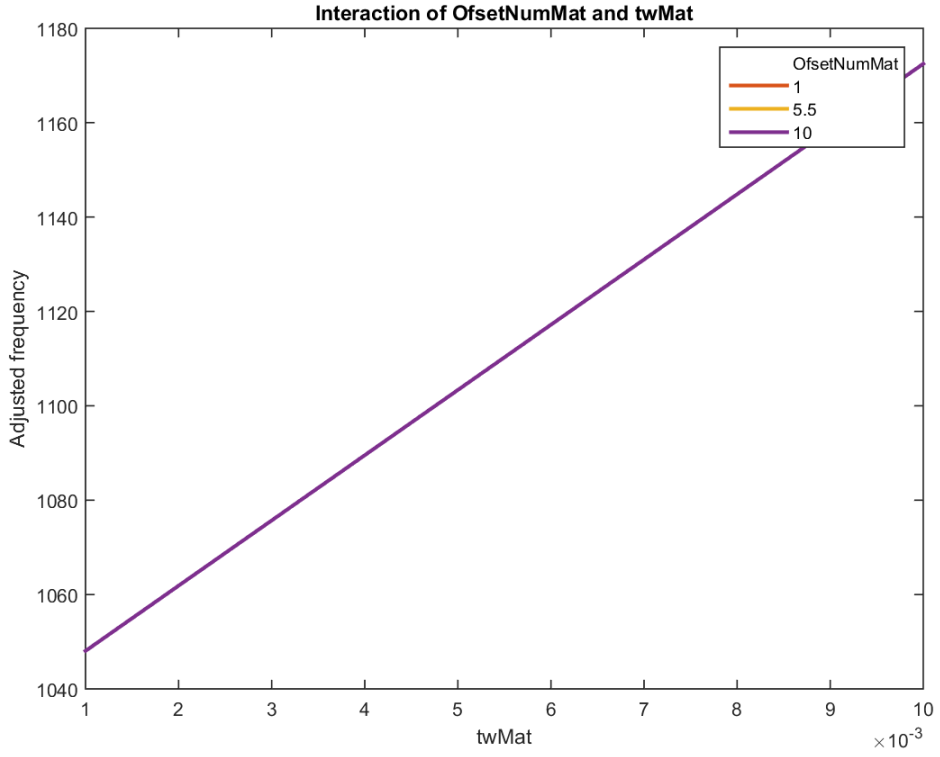
Şekil B.12 Güçlendirici plak yüksekliği (Ly) ve güçlendirici sayısı (OfsetNum)'in doğal frekansa katkıları



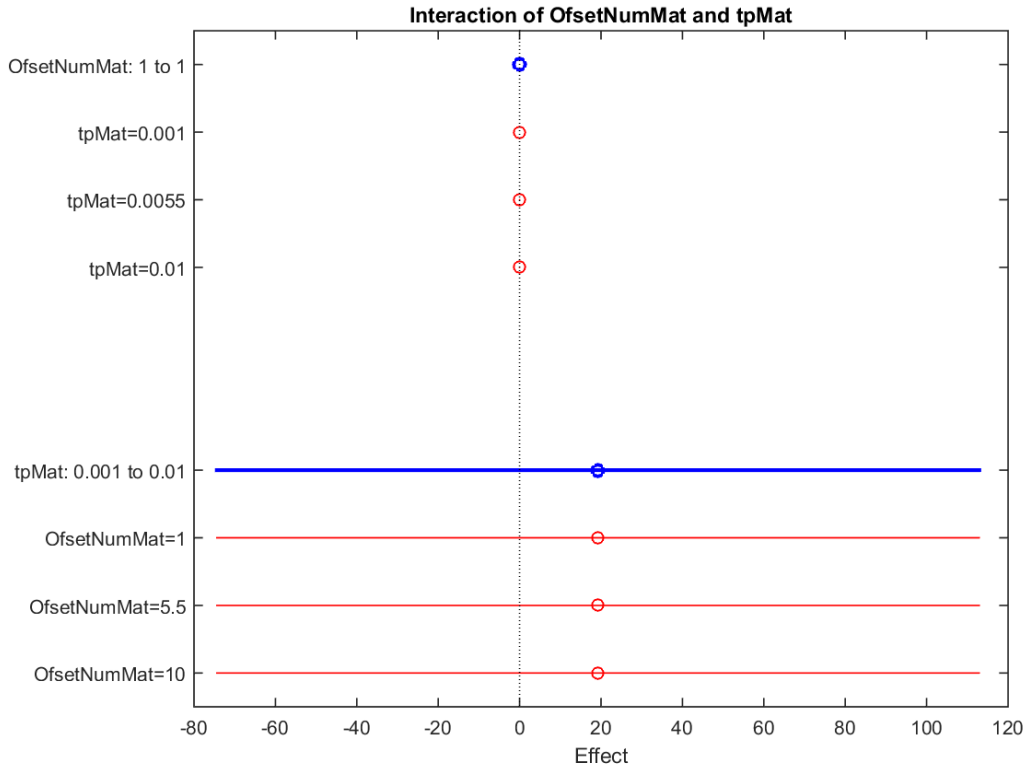
Şekil B.13 Güçlendirici plak yüksekliği (Ly) ve güçlendirici sayısı (OfsetNum) arasındaki ilişki



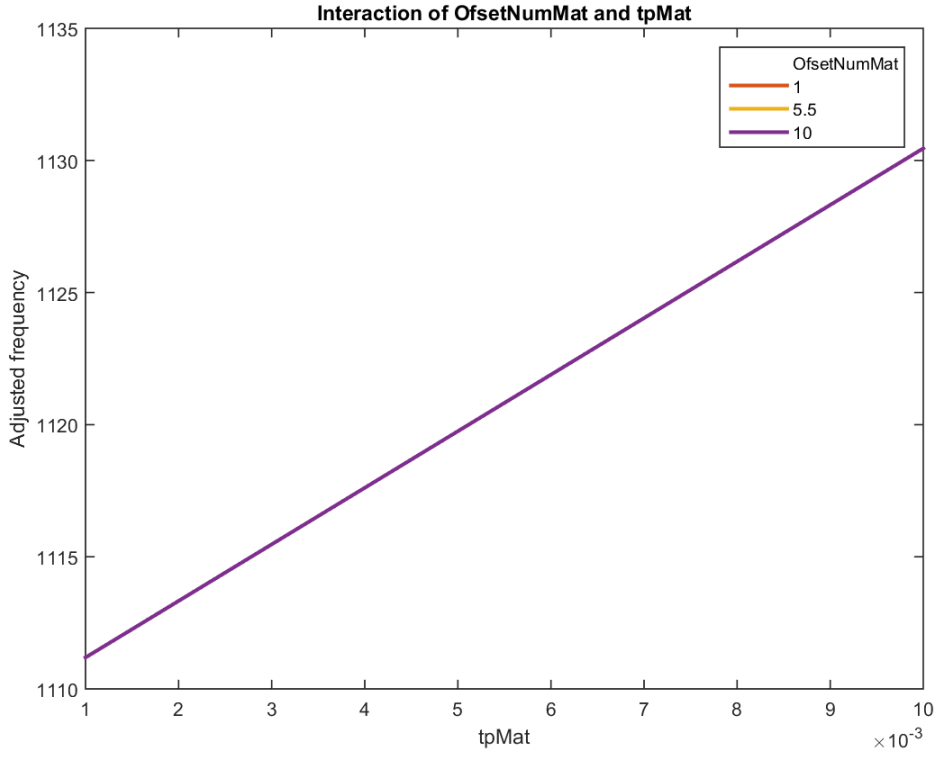
Şekil B.14 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve güçlendirici plak kalınlığı (tw)'nin doğal frekansa ikili etkisi



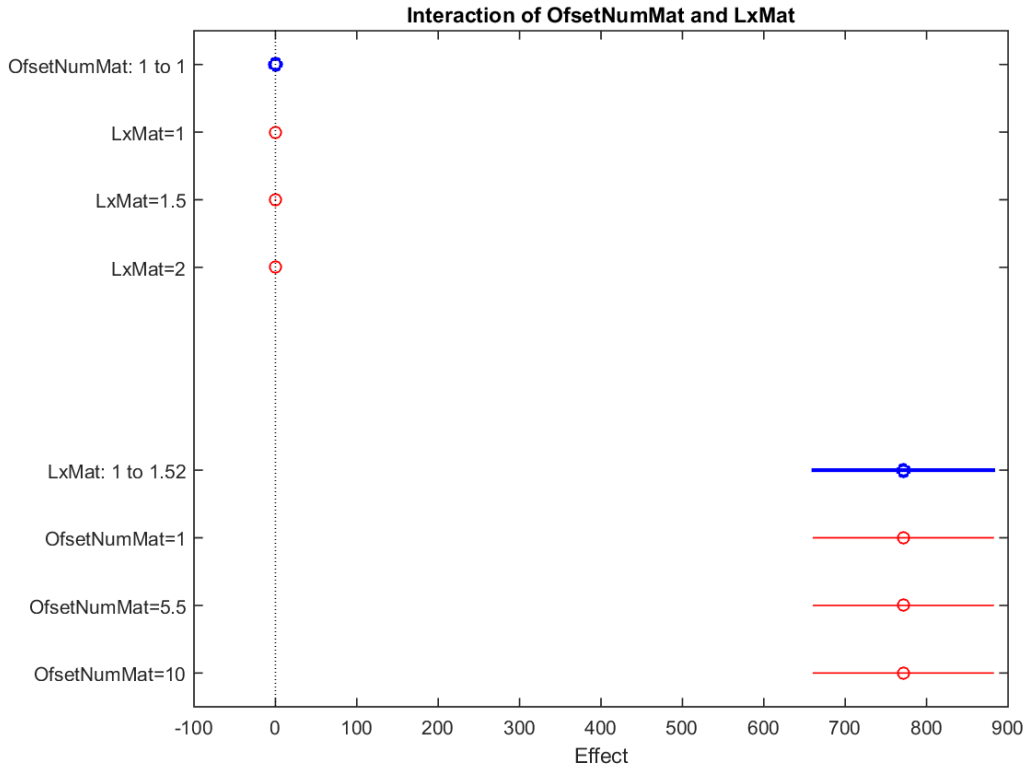
Şekil B.15 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve güçlendirici kalınlığı (tw) arasındaki ilişki



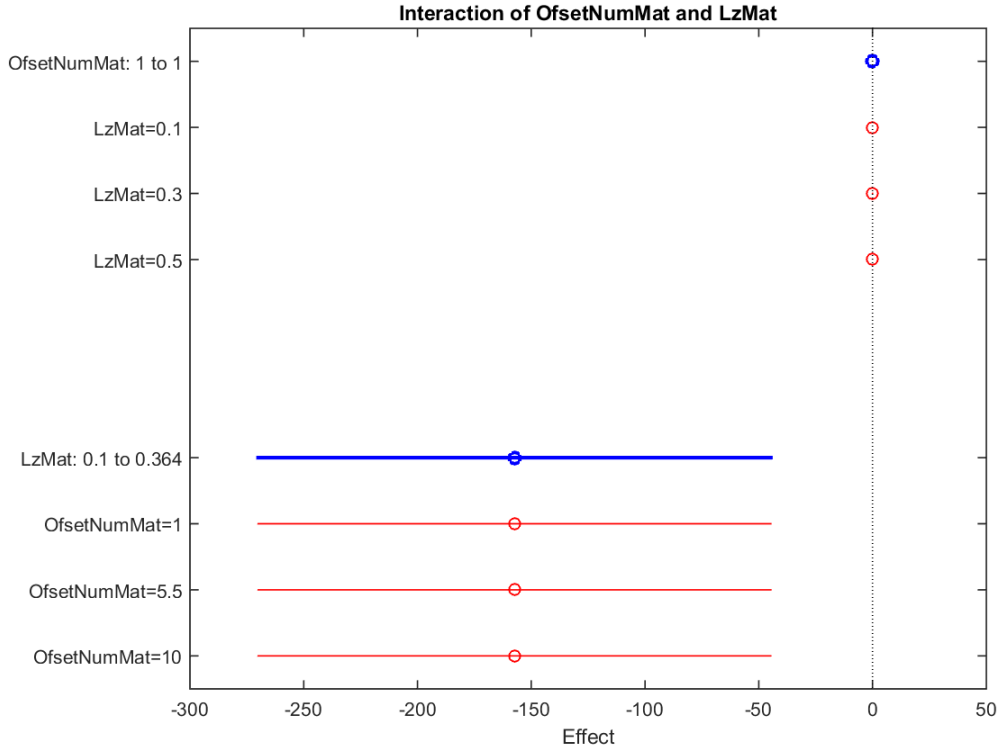
Şekil B.16 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve plak kalınlığı(tp)'nin doğal frekansa ikili katkıları



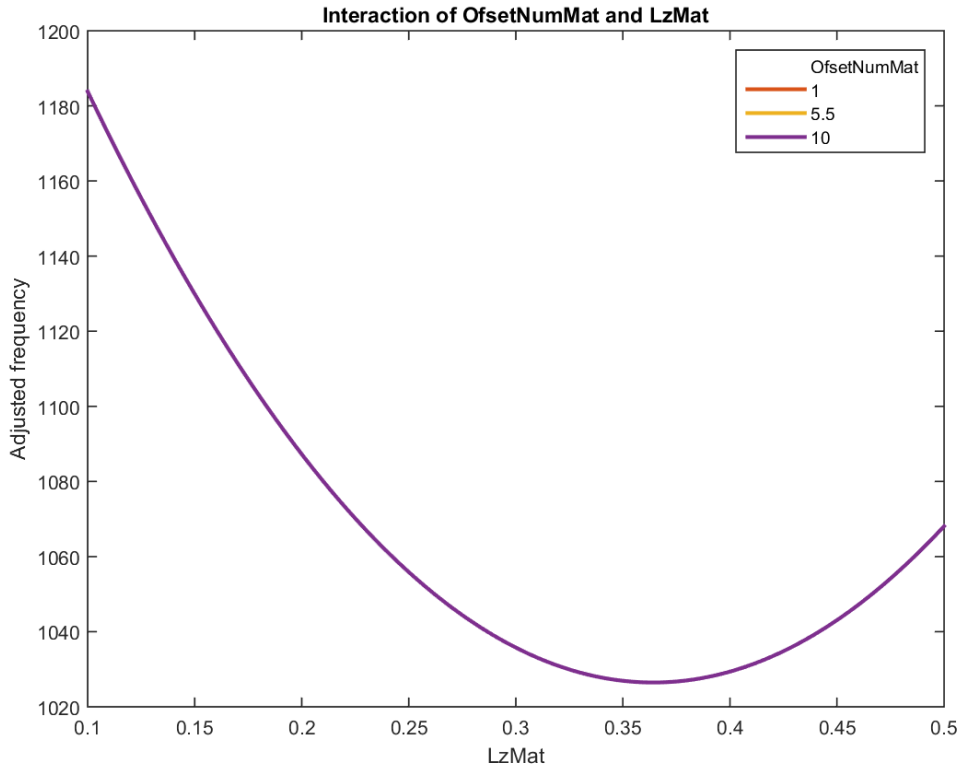
Şekil B.17 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve plak eleman kalınlığı (tp) arasındaki ilişki



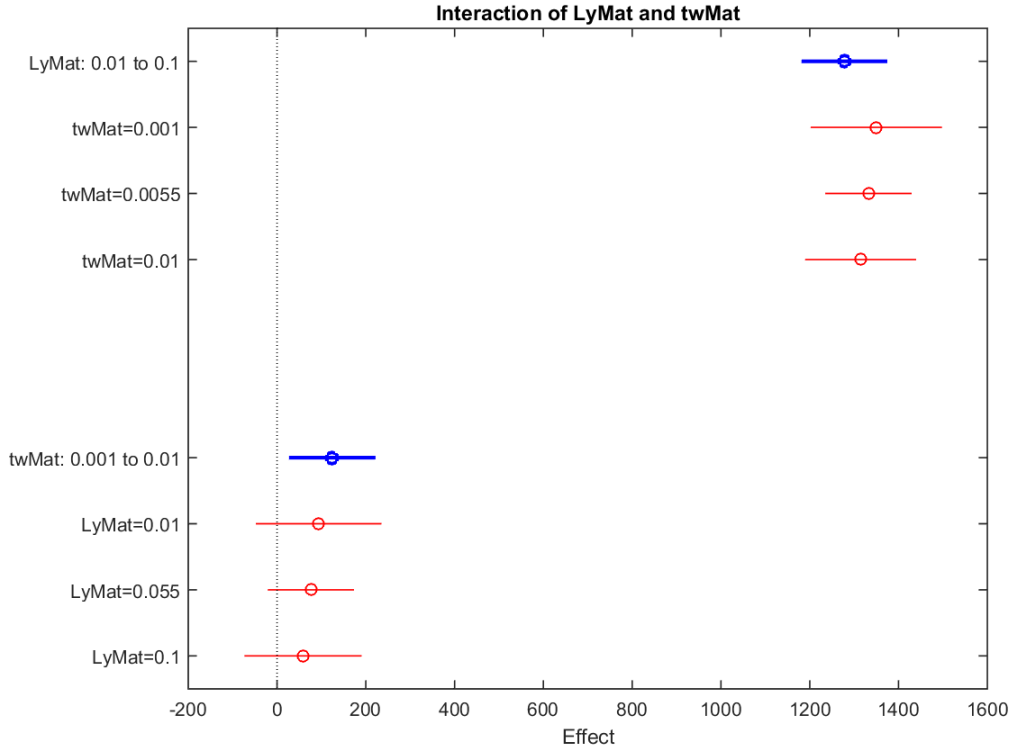
Şekil B.18 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve plak uzunluğu (Lx)'nin doğal frekansa ikili katkıları



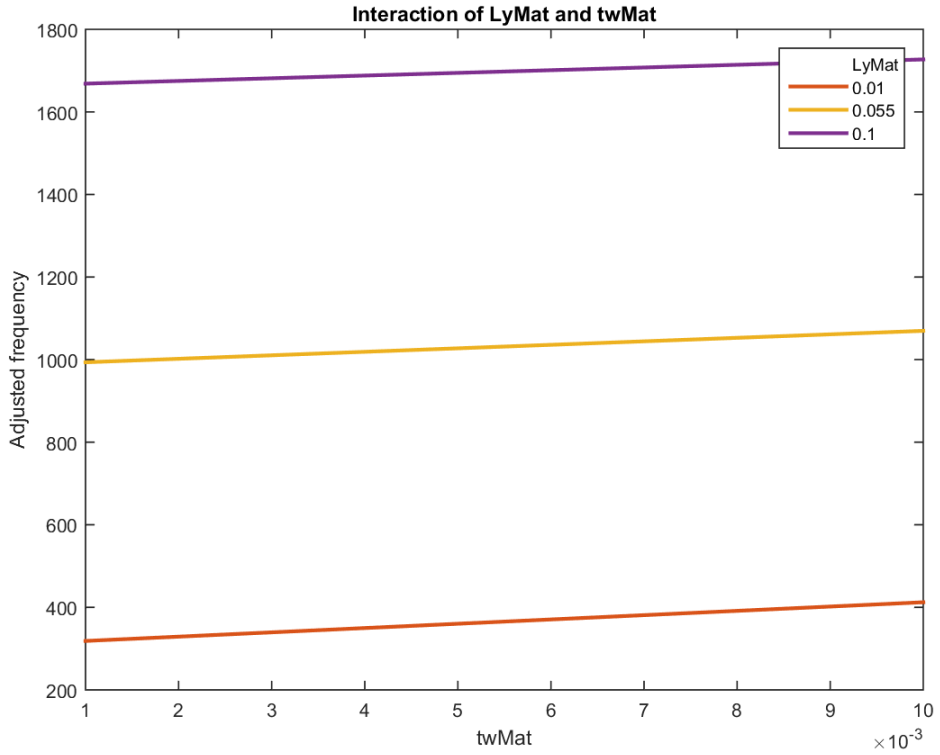
Şekil B.19 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve plak genişliği (Lz)'nin doğal frekansa ikili katkıları



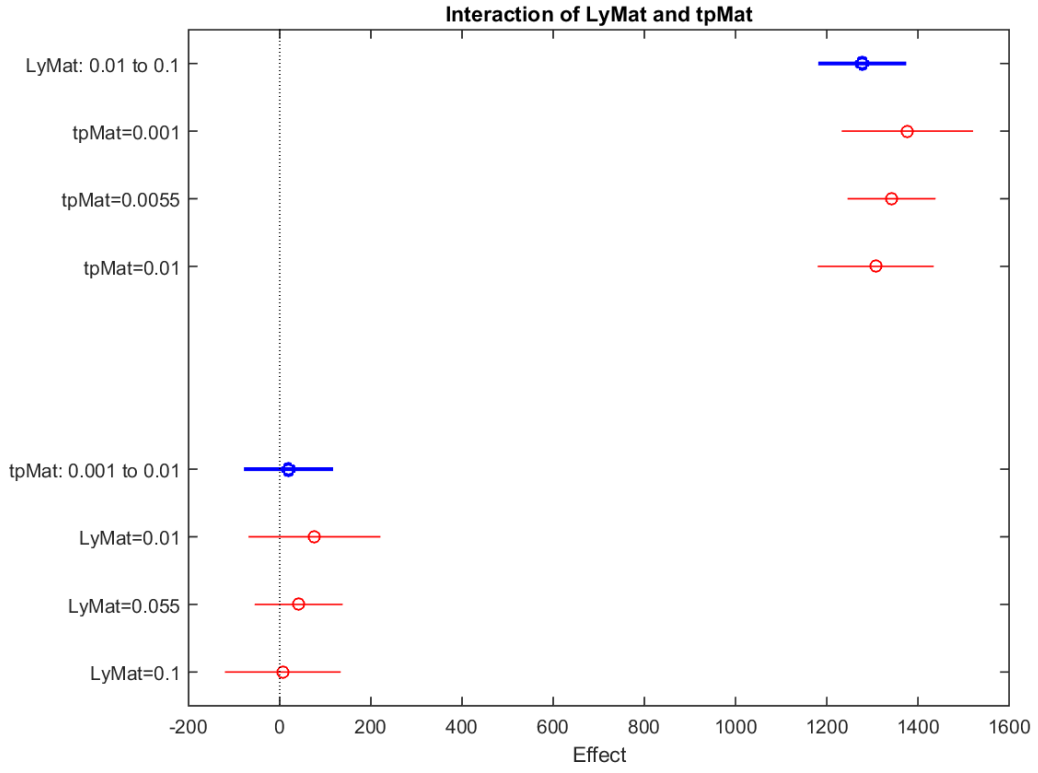
Şekil B.20 Güçlendirici sayısı (OfsetNum) ve plak genişliği (Lz) arasındaki ilişki



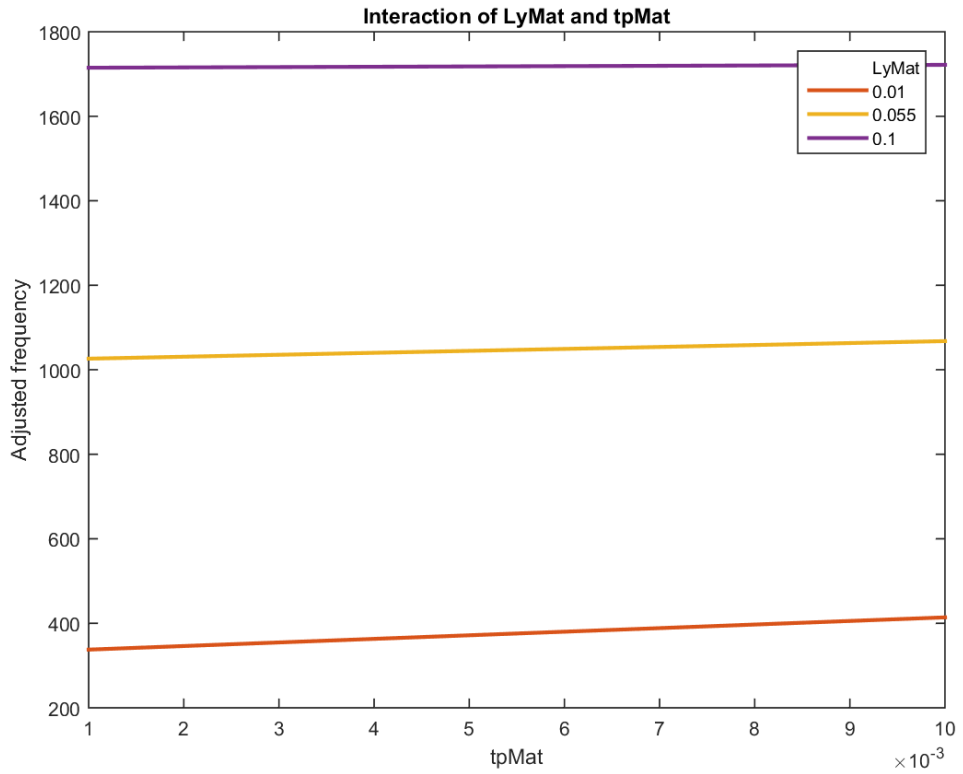
Şekil B.21 Güçlendirici yüksekliği (Ly) ve güçlendirilmiş plak eleman kalınlığı (tw)'nun doğal frekansa ikili katkıları



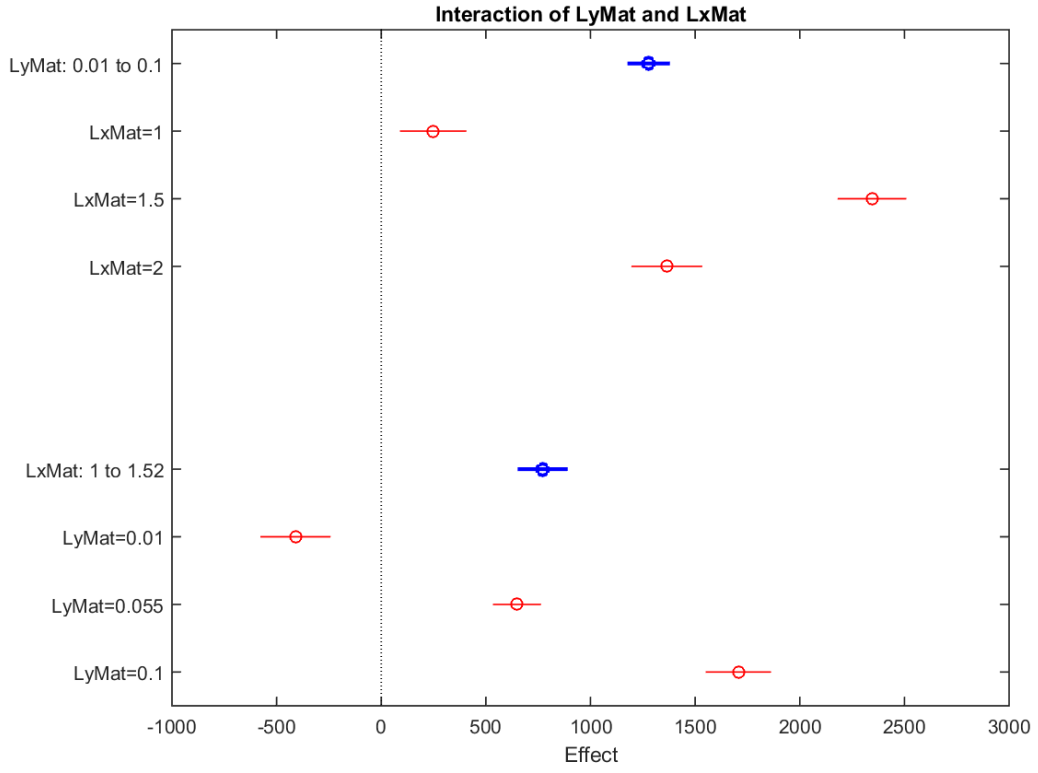
Şekil B.22 Güçlendirici yüksekliği (Ly) ve güçlendirilmiş plak eleman kalınlığı (tw) arasındaki ilişki



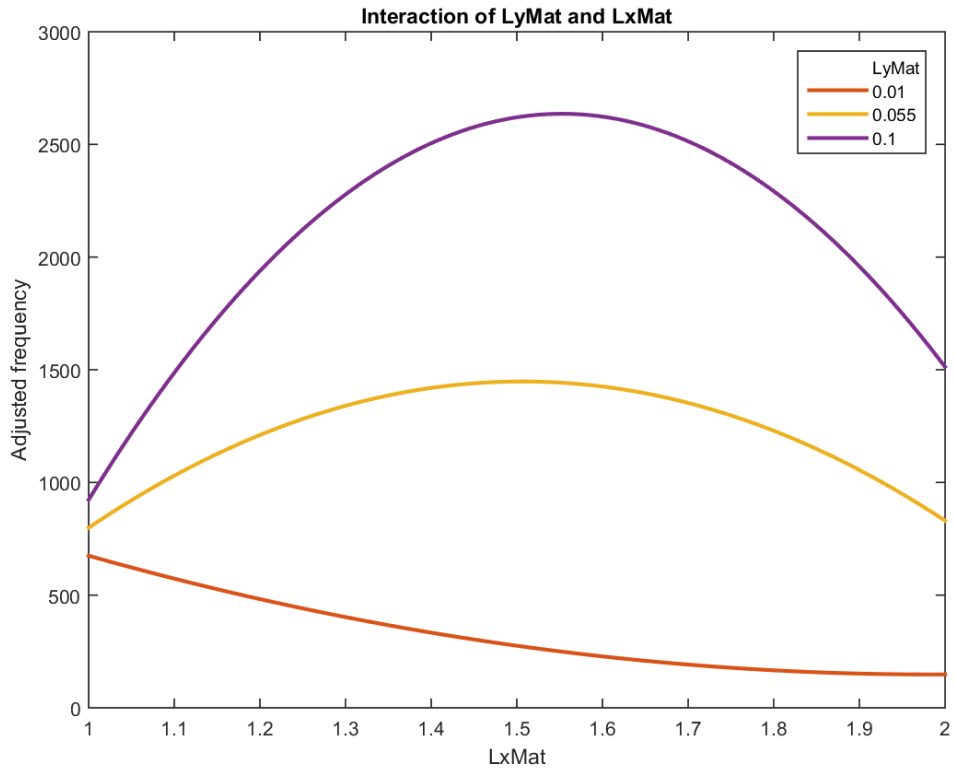
Şekil B.23 Güçlendirici yüksekliği (Ly) ve plak eleman kalınlığı (tp)'nin doğal frekansa ikili katkıları



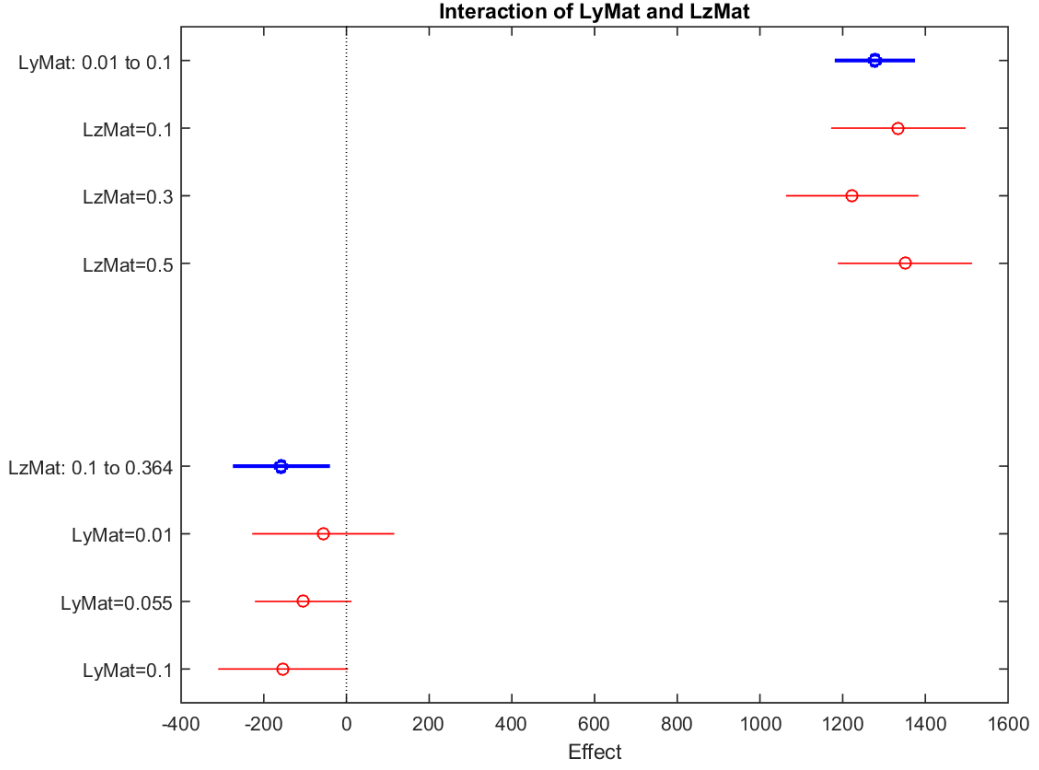
Şekil B.24 Güçlendirici yüksekliği (Ly) ve plak eleman kalınlığı (tp) arasındaki ilişki



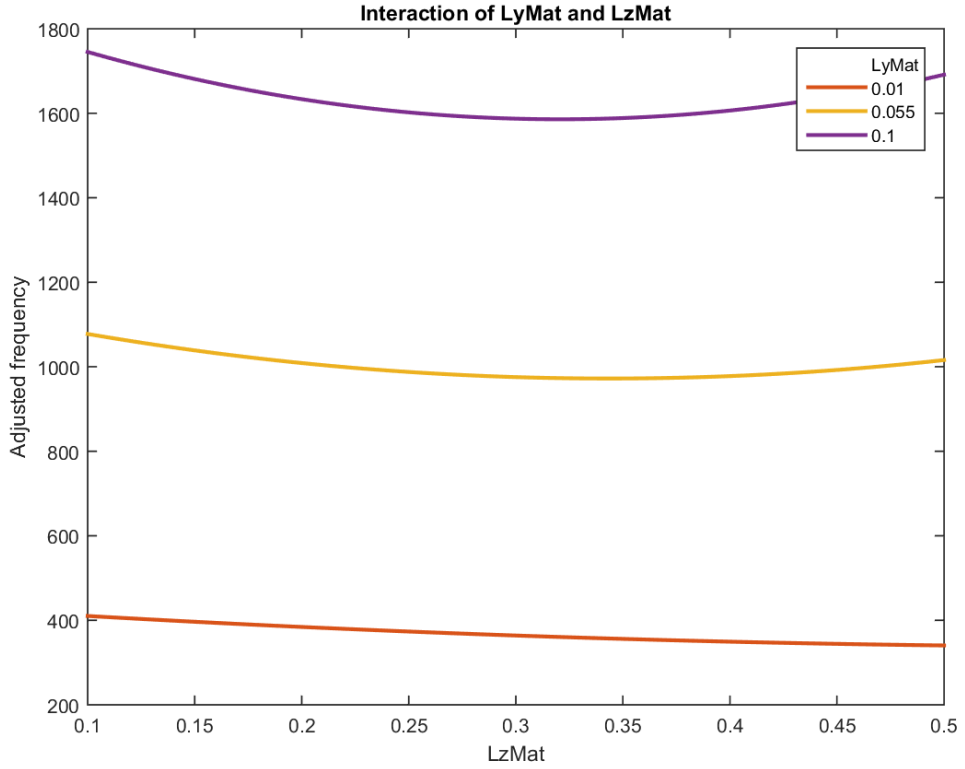
Şekil B.25 Güçlendirici yüksekliği (Ly) ve plak eleman uzunluğu (Lx)'in doğal frekansa ikili katkıları



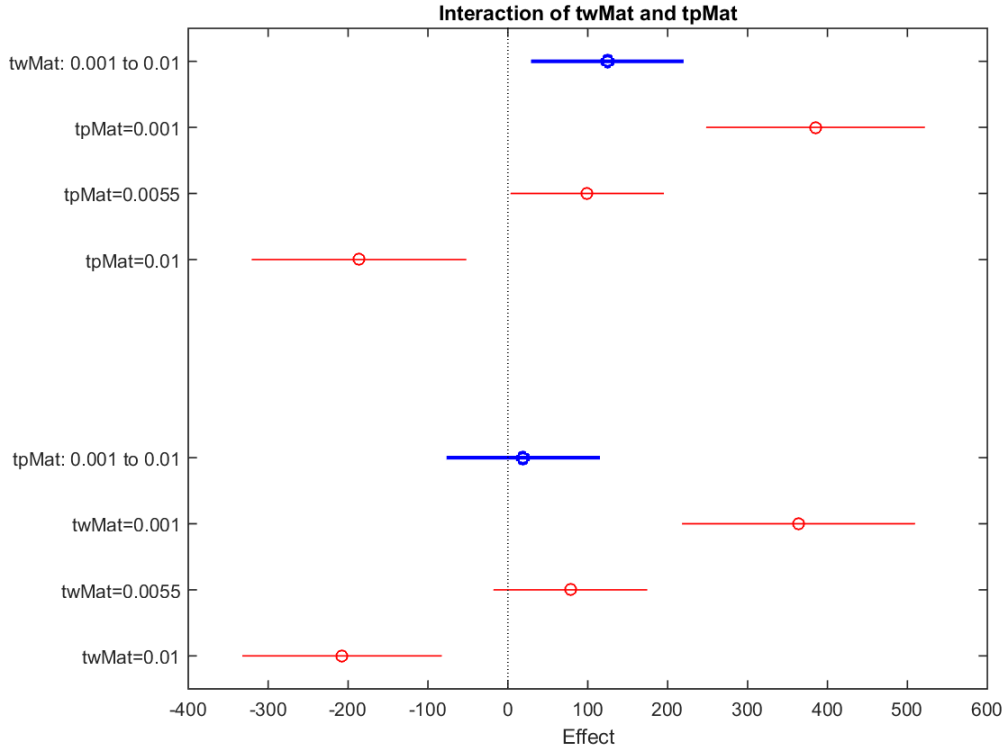
Şekil B.26 Güçlendirici yüksekliği (Ly) plak eleman uzunluğu (Lx) arasındaki ilişki



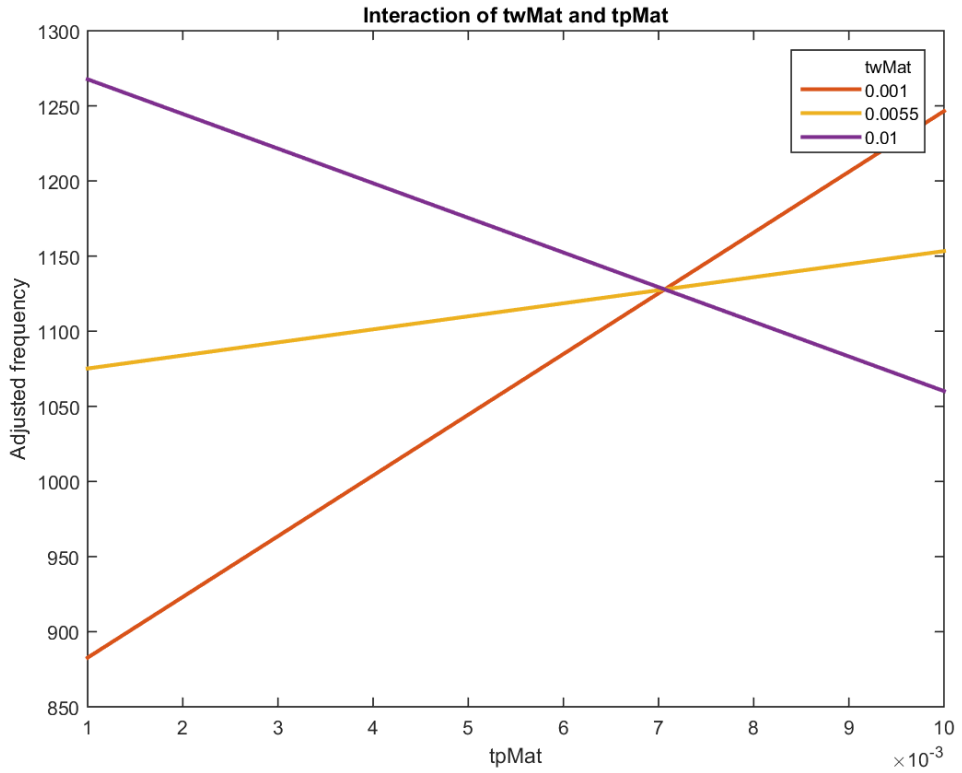
Şekil B.27 Güçlendirici yüksekliği (Ly) ve plak eleman genişliği (Lz)'nin doğal frekansa ikili katkıları



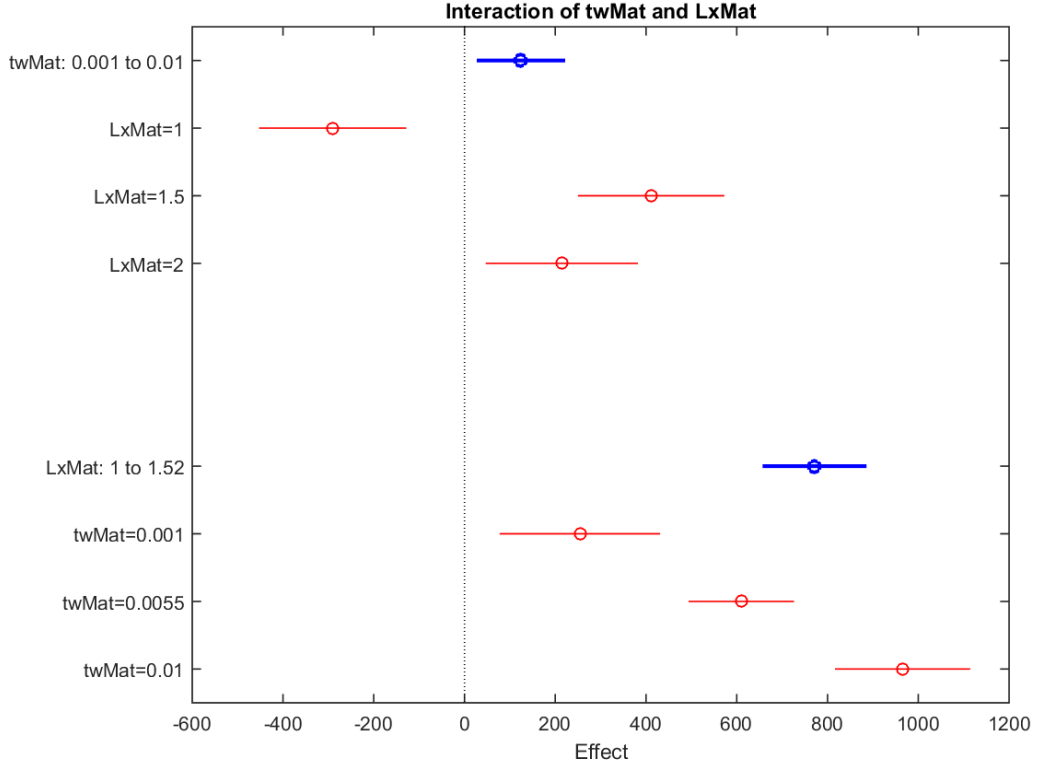
Şekil B.28 Güçlendirici yüksekliği (Ly) plak eleman genişliği (Lz) arasındaki ilişki



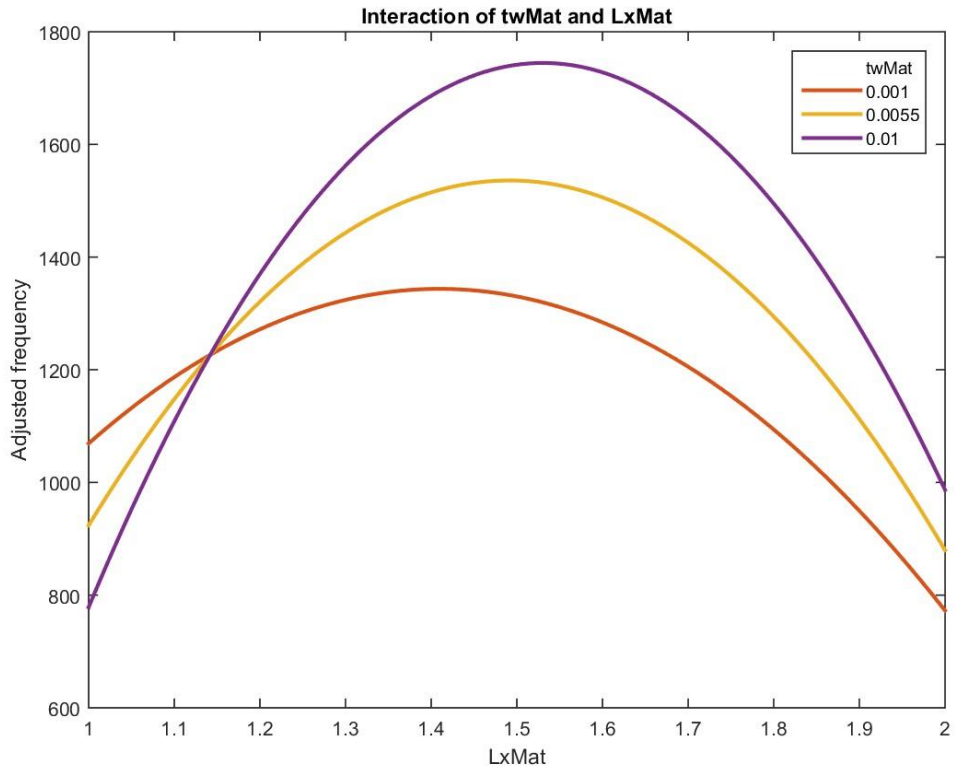
Şekil B.29 Güçlendirici plak kalınlığı (tw) ve plak eleman kalınlığı(tp)'nin doğal frekansa ikili katkıları



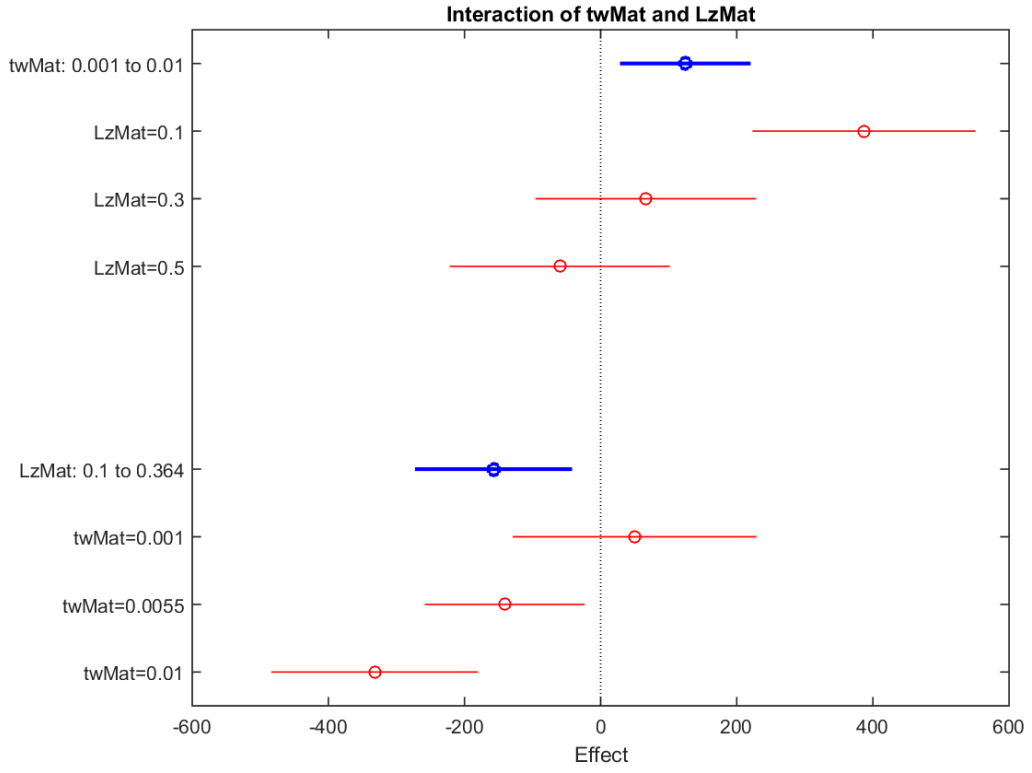
Şekil B.30 Güçlendirici plak kalınlığı (tw) ve plak eleman kalınlığı (tp) arasındaki ilişki



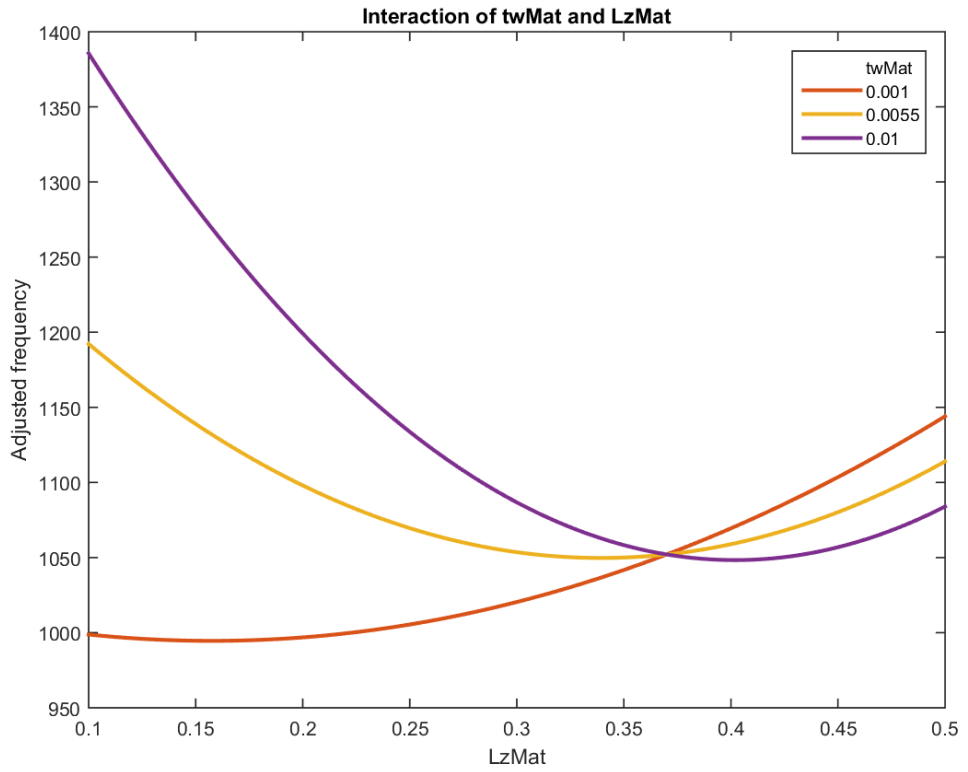
Şekil B.31 Güçlendirici plak kalınlığı (tw) ve plak eleman uzunluğu (Lx)'nin doğal frekansa ikili katkıları



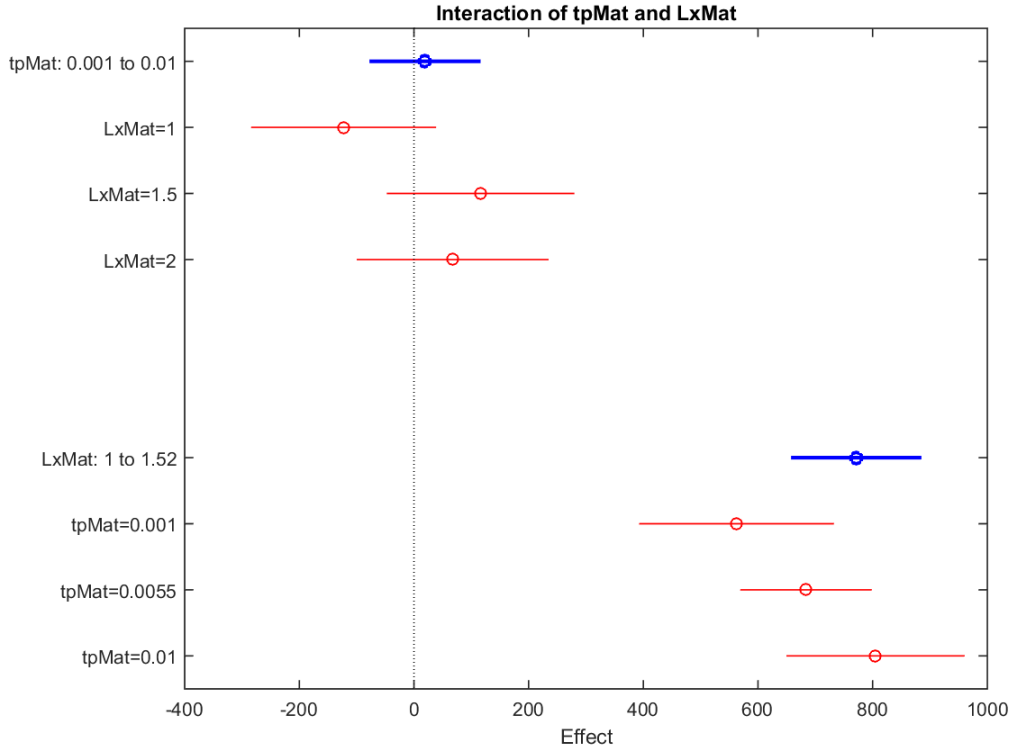
Şekil B.32 Güçlendirici plak kalınlığı (tw) ve plak eleman uzunluğu (Lx) arasındaki ilişki



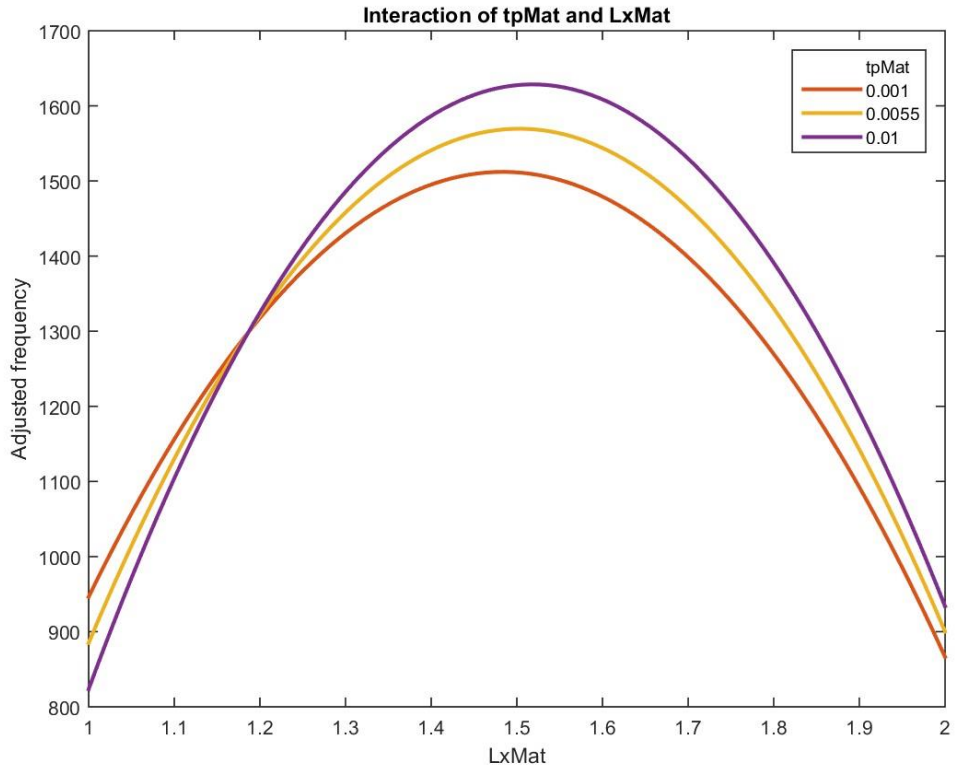
Şekil B.33 Güçlendirici plak kalınlığı (tw) ve plak eleman genişliği (Lz)' nin doğal frekansa ikili katkıları



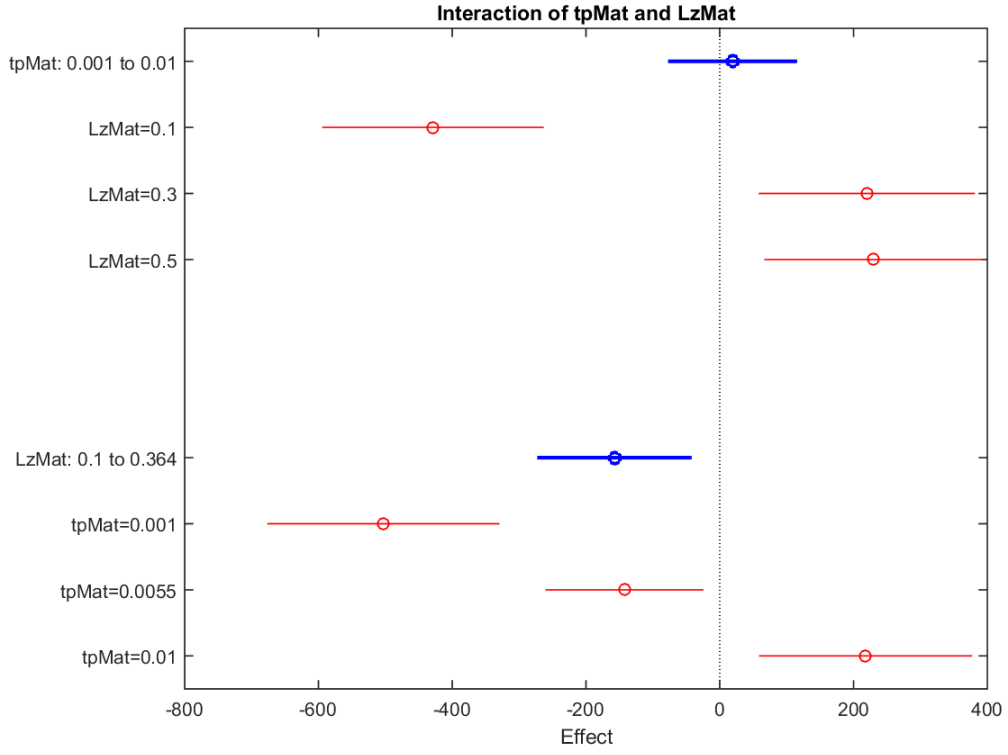
Şekil B.34 Güçlendirici plak kalınlığı (tw) ve plak eleman genişliği (Lz) arasındaki ilişki



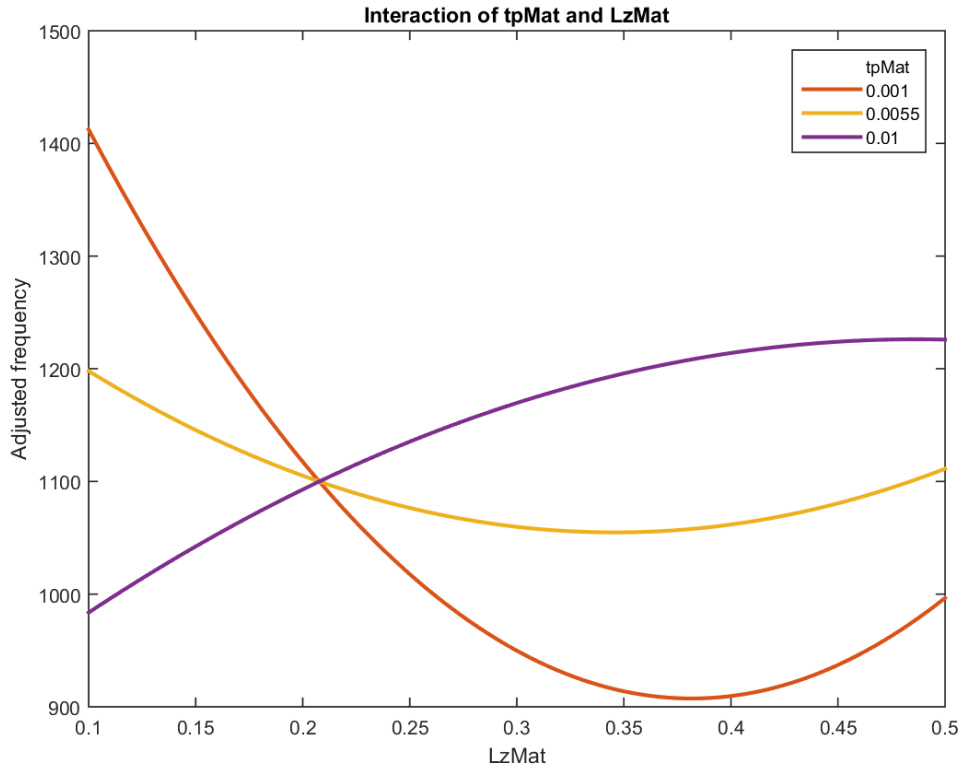
Şekil B.35 Plak kalınlığı (tp) ve plak eleman uzunluğu (Lx)'nin doğal frekansa ikili katkıları



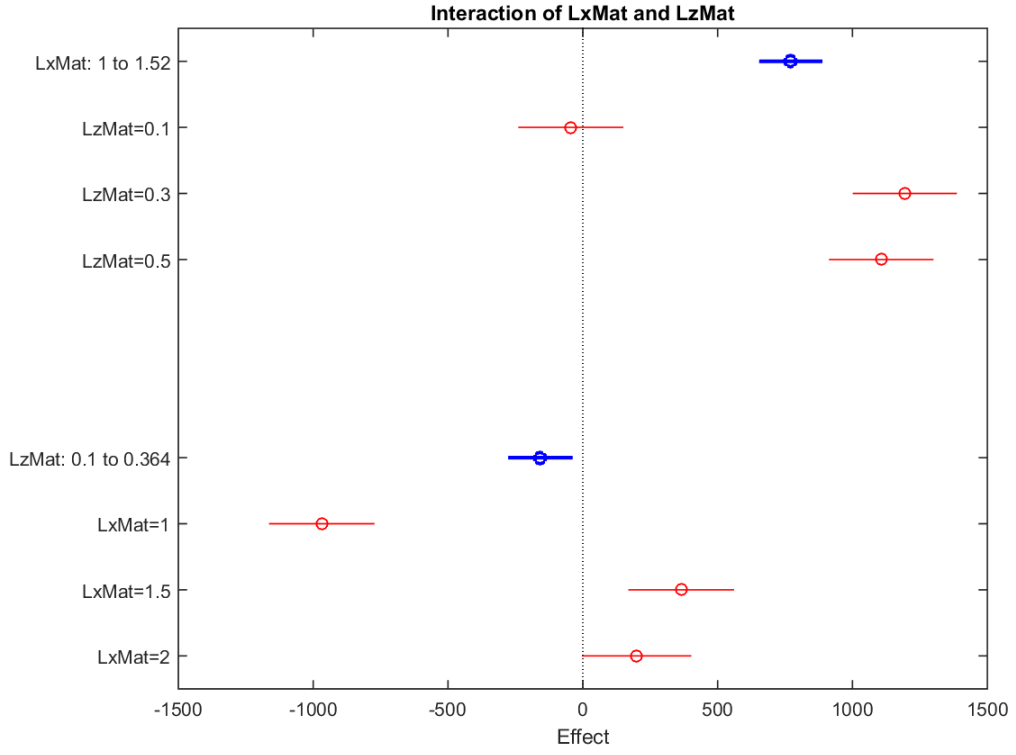
Şekil B.36 Plak kalınlığı (tp) ve plak eleman uzunluğu (Lx) arasındaki ilişki



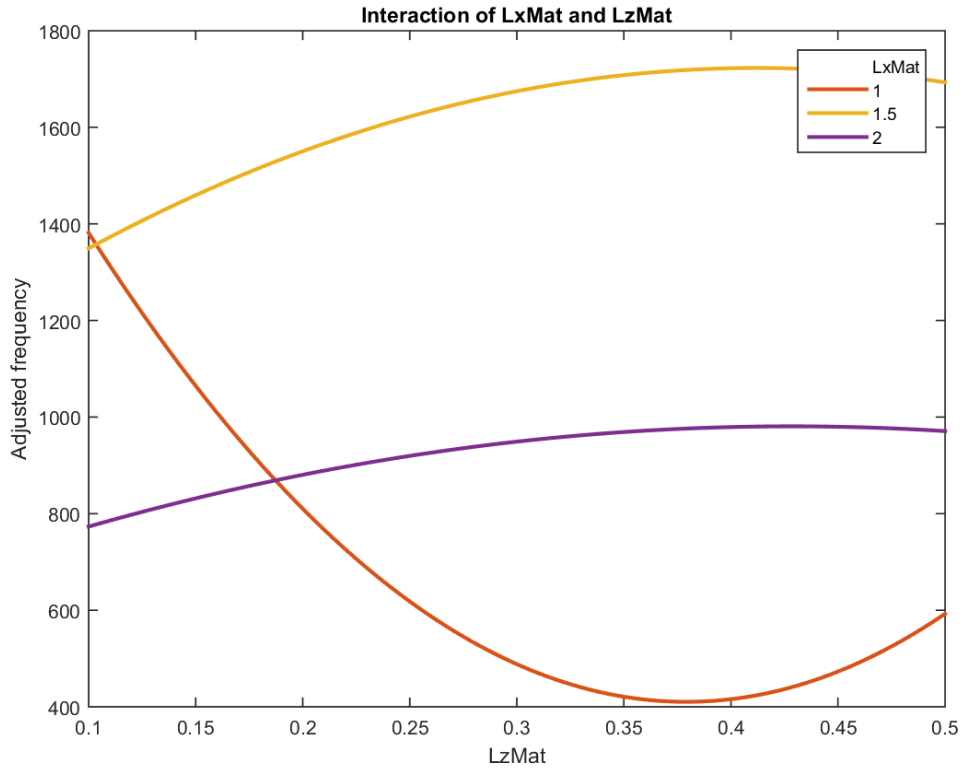
Şekil B.37 Plak kalınlığı (tp) ve plak eleman genişliği (Lz)'nin doğal frekansa ikili katkıları



Şekil B.38 Plak kalınlığı (tp) ve plak eleman genişliği (Lz)'arasındaki ilişki



Şekil B.39 Plak eleman uzunluğu (Lx) ve plak eleman genişliği (Lz)' nin doğal frekansa ikili katkıları



Şekil B.40 Plak eleman uzunluğu (Lx) ve plak eleman genişliği (Lz) arasındaki ilişki

SET,LIST Command

File

**** INDEX OF DATA SETS ON RESULTS FILE ****

SET	TIME/FREQ	LOAD STEP	SUBSTEP	CUMULATIVE
1	384.01	1	1	1
2	2403.3	1	2	2
3	2642.2	1	3	3
4	6198.3	1	4	4
5	6708.6	1	5	5
6	7937.2	1	6	6
7	13067.	1	7	7
8	13262.	1	8	8
9	18637.	1	9	9
10	21376.	1	10	10

Şekil B.41 Minimum boyutlardaki GPE elemana ait doğal frekans değerleri

SET,LIST Command

File

**** INDEX OF DATA SETS ON RESULTS FILE ****

SET	TIME/FREQ	LOAD STEP	SUBSTEP	CUMULATIVE
1	1882.7	1	1	1
2	3194.8	1	2	2
3	8753.4	1	3	3
4	11741.	1	4	4
5	12935.	1	5	5
6	31249.	1	6	6
7	32627.	1	7	7
8	33997.	1	8	8
9	38939.	1	9	9
10	46136.	1	10	10

Şekil B.42 Maksimum boyutlardaki GPE elemana ait doğal frekans değerleri”