

TOBB EKONOMİ VE TEKNOLOJİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**JET UÇAĞI İLE TAŞINAN BİR FAYDALI YÜKÜN
YAPISAL CEVAP KESTİRİMİ**



DOKTORA TEZİ

Engin Metin KAPLAN

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Erdem ACAR

TEMMUZ 2021

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, alıntı yapılan kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, referansların tam olarak belirtildiğini ve ayrıca bu tezin TOBB ETÜ Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlandığını bildiririm.

Engin Metin KAPLAN

ÖZET

Doktora Tezi

JET UÇAĞI İLE TAŞINAN BİR FAYDALI YÜKÜN YAPISAL CEVAP KESTİRİMİ

Engin Metin Kaplan

TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Erdem Acar

Tarih: Temmuz 2021

Jet uçağı ile taşınan bir faydalı yükün cevap kestirimi için geleneksel olarak askeri şartnameler kullanılmakta, frekans ve genlikler hesaplanmaktadır. Bu tez çalışmasında jet uçağı ile taşınan bir faydalı yükün içerisinde bulunan ekipmanların yapısal cevabının yapay sinir ağları (YSA) kullanılarak incelenmesi ve tahmin edilmesi amaçlanmıştır. YSA modellerinin oluşturulması için, üzerinde güdüm kiti bulunan, kütleli ve geometrik özellikleri Mark-83 harp başlığı ile aynı olan temsili bir yapıdan gerçek uçuş koşullarında veri toplanmıştır. Uçak hızı ve uçuş irtifası değiştirilmesi ile elde edilen yetmiş beş farklı uçuş koşulunda toplanan veriler ile YSA eğitilmiş, bunlardan bağımsız olarak seçilen sekiz uçuş durumunda ise performansı test edilmiştir. Yapısal cevaplar faydalı yük içerisine yerleştirilen ivmeölçerden veri toplama sistemi aracılığı toplanmış, ivme güç spektrumu yoğunlukları (İGSY) olarak frekans tabanına dönüştürülmüştür. Ölçümlerden maksimum yapısal cevap tahmini elde etmek için tolerans limitleri kullanılmıştır. Maksimum cevap elde etmek için tanınmış tolerans limitlerinden ayrı olarak, üçüncü derece normal ve logaritmik polinom dönüşümü de literatürde ilk kez bu çalışmada yapısal cevap kestirimi için kullanılmış ve bunların performansı diğer tolerans limitleri ile karşılaştırılmıştır. Tolerans limitleri kullanılarak elde edilmiş yapısal cevap tahminleri frekans alanında

askeri şartname ve deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bu yüklerin yapısal parça tasarımı üzerindeki etkisini göstermek için bir vaka örneği çalışması yapılmıştır. Yapısal tasarımda kullanılacak yükler üç-sigma kuralı ile 20-300 Hz frekans bandı aralığında hesaplanmıştır. Bir destek parçası üç farklı yük durumu için VRAND GENESIS yapısal eniyileme paket programı kullanılarak tasarlanmıştır. YSA tahmini ve test sonucu yapısal cevap verilerinden türetilmiş yükler kullanılarak yapılan eniyileme sonucu elde edilen destek parçası tasarımının, askeri şartname kullanılarak elde edilen tasarıma göre daha hafif olduğu ve aynı zamanda istenilen emniyet faktörü isterini de sağladığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, faydalı yük içerisinde bulunan ekipmanların yapısal cevaplarının tez kapsamında geliştirilen yaklaşım ile yüksek doğruluk seviyesinde tahmin edildiği görülmüştür. Askeri şartnamenin önerdiği cevap spektrumunun korunumlu olduğu ortaya çıkmıştır. Tolerans limiti tahminlerinin, askeri şartnameye göre daha doğru olduğu gözlenmiştir. Normal ve dağılımdan bağımsız tolerans limiti kullanılarak yapılan tahminlerin özellikle düşük frekans performansının diğer tolerans limitlerine göre daha iyi olduğu anlaşılmıştır. Üçüncü derece normal ve logaritmik polinom dönüşümü kullanılarak yapılan tahminler normal kestirim limiti ve zarf limitine göre daha iyi sonuç vermiştir. Bu tez ile önerilen yaklaşımın jet uçağı dış istasyonu ile taşınan faydalı yük içerisindeki ekipmanın yapısal cevap tahmininde iyi çalıştığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: MIL-STD-810, Yapısal cevap, Test spektrumu, Faydalı yük titreşimi, Uçuş sırasında titreşim.

ABSTRACT

Doctor of Philosophy

STRUCTURAL RESPONSE PREDICTON OF A PAYLOAD CARRIED BY A JET FIGHTER

Engin Metin Kaplan

TOBB University of Economics and Technology
Institute of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Erdem Acar

Date: July 2021

Military specifications are traditionally used to calculate the structural response of a payload carried externally by jet type aircraft both frequency and amplitude. The purpose of this thesis is investigation and prediction of structural response of equipment mounted in payload by using artificial neural networks (ANN). A representative payload which is similar to the Mark-83 warhead with guidance units in terms of mass and geometry is used to construct ANN models in real flight conditions. Seventy-five different flight conditions in terms of Mach number and flight altitude are used to train the ANN for low and high frequency components as military specification proposal. Also, 8 flight conditions apart from the training set of flight conditions are used to test the approach. Structural responses are collected with accelerometers mounted in payload by the data storage system. In signal processing, structural response is expressed as acceleration power spectral density (PSD) functions in the frequency domain. Procedures to predict the maximum response from measurements are determined with statistical limits in the literature. Besides the well known limits in the literature, third order polynomial normal and logarithmic transform are used to predict the structural response first time in this study and the performance of the different limits are compared. Structural response predictions with tolerance

limit in frequency domain are compared with military specification and experimental results. A structural design case study is performed using ANN prediction, military specification and experimental data to demonstrate the loads magnitude difference. Loads for structural design are calculated with random loads using PSD data. Three sigma rule is considered between 20-300 Hz frequency bands. A support structure is optimized for three different loads by VRAND GENESIS tool. Supports designed based on experimental and predicted loads are observed to be lighter than the support designed according to the specification.

As a result, it has been found that the developed approach in this thesis can be used in response prediction of a payload. The military specification response spectrum is conservative. Tolerance limit prediction performance is better than military specification. Distribution free and normal tolerance limits predicted low frequency acceleration spectral density magnitudes more accurately. Their prediction performances were better than those of the other tolerance limits and that of the military specification. Third order polynomial transform predictions are found to be reasonable with respect to normal prediction limit and envelope approach. The response prediction approach proposed in this thesis works well for payload carried externally by jet fighter.

Keywords: MIL-STD-810, Structural response, Test spectrum, Payload vibration, In-Flight vibration.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, yoluma ışık tutan kıymetli hocam, danışmanım Prof. Dr. Erdem ACAR'a eş danışmanım, Doç. Dr. Mehmet Bülent ÖZER'e içten teşekkürlerimi sunarım.

Beni bugünlere getiren, eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi destekleriyle hep yanımda olan annem Fehamet KAPLAN'a, babam Dursun KAPLAN'a ve kardeşim Ali Murat KAPLAN'a en derin teşekkürlerimi sunarım. Son olarak, biricik eşim Sinem KAPLAN'a, uzun birlikteliğimiz boyunca gerek tez çalışmalarımda gerek iş hayatımda beni her zaman desteklediği için özel teşekkürlerimi sunarım.

Doktora eğitimim boyunca bana araştırma bursu sağladığı için TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi'ne teşekkür ederim. Ayrıca Makine Mühendisliği öğretim üyesi hocalarıma öğrettikleri değerli bilgiler için teşekkürlerimi sunarım.

Ülkemizin değerli kurumu TÜBİTAK SAGE'ye mesleğimi en güzel şekilde yapmamı sağlayacak imkânları verdikleri ve meslek hayatımda önemli tecrübeler kazandırdıkları için şükranlarımı sunarım. Ayrıca çalışma arkadaşım Sn. Ersin DAŞ, ve dönem arkadaşım Sn. Uğur YOLUM'a çalışmalarım için verdikleri destekten dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Tezimi aileme adıyorum. . .

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	ii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİL LİSTESİ	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xvi
KISALTMALAR	xviii
SEMBOL LİSTESİ	xix
RESİM LİSTESİ	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel Bilgiler	1
1.2. Problemin Tanımı	10
1.3. Literatür Araştırması	11
1.4. Tezin Önemi ve Hedefi	14
1.5. Tezin Organizasyonu	15
2. TEORİK TEMELLER	17
2.1. Rastgele Titreşim	17
2.2. Rastgele Titreşim Yüklerinin Statik Olarak Kullanılması	17
2.2.1. Miles Eşitliği	17
2.2.2. Titreşim Şartnamesi ile Hesaplama.....	18
2.2.3. Tüm Bant Genişliğinde İGSY İntegrali	18
2.2.4. Sınırlı Bant Genişliğinde İGSY İntegrali	18
2.3. Tolerans Limitleri.....	18
2.3.1. Normal Tolerans Limiti.....	19
2.3.2. Dağılımdan Bağımsız Tolerans Limiti.....	19
2.3.3. Normal Kestirim Limiti.....	20
2.3.4. Zarf Limiti	20
2.3.5. Üçüncü Derece Normal Polinom Dönüşümü.....	21
2.3.6. Üçüncü Derece Logaritmik Polinom Dönüşümü.....	21
2.4. Yapay Sınır Ağları	22
2.5. Askeri Şartname	23
2.6. Yapısal Eniyileme	25
3. VERİ TOPLAMA, DUYARGA VE TEST HAVUZU BİLGİLERİ	27
3.1. Veri Toplama Bilgileri	27
3.2. Duyarga Bilgileri.....	27
3.3. Tolerans Limitleri Parametreleri	28
3.4. YSA’da Kullanılan Eğitim ve Test Havuzu.....	28
3.5. İşlem Akış Şeması.....	29
4. TEST SONUÇLARI	31
4.1. Verilerin Doğrulanması.....	31
4.2. Tolerans Limitleri Sonuçları ve Test Spektrumları.....	33
4.2.1. Eğitim Noktaları Sonuçları	33

4.2.2.	Test Noktaları Sonuçları.....	35
4.3.	YSA Tahminleri	37
4.3.1.	Normal Tolerans Limiti Tahmini	38
4.3.2.	Dağılımdan Bağımsız Tolerans Limiti Tahmini	38
4.3.3.	Normal Kestirim Limiti Tahmini	39
4.3.4.	Zarf Limiti Tahmini	40
4.3.5.	Üçüncü Derece Normal Polinom Dönüşümü Tahmini	40
4.3.6.	Üçüncü Derece Logaritmik Polinom Dönüşümü Tahmini	41
4.4.	Sonuçların Özeti ve Karşılaştırması	42
4.5.	YSA Tahminlerinin Askeri Şartname ile Karşılaştırması	51
4.5.1.	Askeri şartname ile NTL karşılaştırması.....	51
4.5.2.	Askeri şartname ile DTL karşılaştırması.....	52
4.5.3.	Askeri şartname ile NKL karşılaştırması	53
4.5.4.	Askeri şartname ile ZL karşılaştırması.....	53
4.5.5.	Askeri şartname ile TPTN karşılaştırması	54
4.5.6.	Askeri şartname ile Log-TPTN karşılaştırması.....	55
5.	YAPISAL ANALİZ VE ENİYİLEME SONUÇLARI.....	57
5.1.	Yükleme ve Sınır Koşulları	57
5.2.	Yapısal Eniyileme	58
5.3.	Yapısal Analiz	60
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER.....	65
6.1.	Genel Değerlendirme	65
6.2.	Gelecek Çalışmaları için Öneriler	68
	KAYNAKLAR.....	71
	EKLER.....	77

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Uçak kanadı üzerinde akış çizgileri [3].	2
Şekil 1.2 : Uçak kanadı üzerinde akış çizgileri Faydalı yük ömür döngüsünde titreşim yüklerinin etkilediği aşamalar.	2
Şekil 1.3 : Faydalı yüklerin uçakla taşınma türleri görseli [15].	7
Şekil 1.4 : F/16 uçağı faydalı yük istasyonları [16].	8
Şekil 1.5 : Uçak-Faydalı yük arayüzü görseli [18].	8
Şekil 1.6 : Farklı istasyonlardaki faydalı yük sürüklenme kuvvetleri [15].	9
Şekil 1.7 : Problemin tanımına ait şematik gösterim.	10
Şekil 2.1 : Zarf limiti grafiğı örneğı.	20
Şekil 2.2 : Tek nöronlu bir YSA'nı şematik görünümü.	22
Şekil 2.3 : Askeri şartnamede verilen faydalı yük ekipmanı titreşim seviyesi grafiğı [4].	23
Şekil 3.1 : İvmeölçer şematik konumları görseli.	27
Şekil 3.2 : İrtifa ve Mach sayısı cinsinden veri havuzu.	29
Şekil 3.3 : İşlem akış şeması.	30
Şekil 4.1 : Uçağı bağı faydalı yük için literatürde bulunan titreşim seviyesinin test sonuçları ile karşılaştırılması [74].	32
Şekil 4.2 : Uçağı bağı faydalı yük için literatürde bulunan titreşim seviyesinin test sonuçları ile karşılaştırılması [75].	33
Şekil 4.3 : Durum 1 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.	34
Şekil 4.4 : Test noktası 2'de ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.	36
Şekil 4.5 : Test noktası 2 için YSA tahmini ve NTL test sonucu.	38
Şekil 4.6 : Test noktası 2 için YSA tahmini ve DTL test sonucu.	39
Şekil 4.7 : Test noktası 2 için YSA tahmini ve NKL test sonucu.	39
Şekil 4.8 : Test noktası 2 için YSA tahmini ve ZL test sonucu.	40
Şekil 4.9 : Test noktası 2 için YSA tahmini ve TPTN test sonucu.	41
Şekil 4.10 : Test noktası 2 için YSA tahmini ve Log-TPTN test sonucu.	41
Şekil 4.11 : Test noktası 2'de NTL ve askeri şartname karşılaştırması.	51
Şekil 4.12 : Test noktası 2'de DTL ve askeri şartname karşılaştırması.	52
Şekil 4.13 : Test noktası 2'de NKL ve askeri şartname karşılaştırması.	53
Şekil 4.14 : Test noktası 2'de ZL ve askeri şartname karşılaştırması.	54
Şekil 4.15 : Test noktası 2'de TPTN ve askeri şartname karşılaştırması.	54
Şekil 4.16 : Test noktası 2'de Log-TPTN ve askeri şartname karşılaştırması.	55
Şekil 5.1 : Eniyileme yapılan geometrinin unsur boyutları.	57
Şekil 5.2 : Yapısal tasarım örneğı sonlu elemanlar modeli.	58
Şekil 5.3 : Yapıların kütle dağılımı.	59
Şekil 5.4 : Askeri şartname yükleri ile yapılan eniyilemeye ait hedef ve kısıt fonksiyonları.	59
Şekil 5.5 : YSA yükleri ile yapılan eniyilemeye ait hedef ve kısıt fonksiyonları.	60
Şekil 5.6 : Test yükleri ile yapılan eniyilemeye ait hedef ve kısıt fonksiyonları.	60
Şekil 5.7 : Yapılarda meydana gelen von Mises gerilme dağılımı.	61

Şekil 5.8 : Test yükleri ile askeri şartname geometrisine yapılan sonlu elemanlar analizi bölüntüleme hassasiyet çalışması.....	62
Şekil 5.9 : Test yükleri ile YSA geometrisine yapılan sonlu elemanlar analizi bölüntüleme hassasiyet çalışması.....	62
Şekil 5.10 : Test yükleri ile yapılan sonlu elemanlar analizi sonucu yapılar da meydana gelen von Mises gerilme dağılımı.....	63
Şekil Ek. 1 : Durum 2 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	79
Şekil Ek. 2 : Durum 3 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	80
Şekil Ek. 3 : Durum 4 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	81
Şekil Ek. 4 : Durum 5 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	82
Şekil Ek. 5 : Durum 6 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	83
Şekil Ek. 6 : Durum 7 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	84
Şekil Ek. 7 : Durum 8 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	85
Şekil Ek. 8 : Durum 9 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	86
Şekil Ek. 9 : Durum 10 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	87
Şekil Ek. 10 : Durum 11 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	88
Şekil Ek. 11 : Durum 12 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	89
Şekil Ek. 12 : Durum 13 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	90
Şekil Ek. 13 : Durum 14 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	91
Şekil Ek. 14 : Durum 15 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	92
Şekil Ek. 15 : Durum 16 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	93
Şekil Ek. 16 : Durum 17 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	94
Şekil Ek. 17 : Durum 18 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	95
Şekil Ek. 18 : Durum 19 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	96
Şekil Ek. 19 : Durum 20 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	97
Şekil Ek. 20 : Durum 21 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	98
Şekil Ek. 21 : Durum 22 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	99
Şekil Ek. 22 : Durum 23 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	100
Şekil Ek. 23 : Durum 24 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	101
Şekil Ek. 24 : Durum 25 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	102
Şekil Ek. 25 : Durum 26 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	103
Şekil Ek. 26 : Durum 27 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	104
Şekil Ek. 27 : Durum 28 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	105
Şekil Ek. 28 : Durum 29 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	106
Şekil Ek. 29 : Durum 30 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	107
Şekil Ek. 30 : Durum 31 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	108
Şekil Ek. 31 : Durum 32 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	109
Şekil Ek. 32 : Durum 33 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	110
Şekil Ek. 33 : Durum 34 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	111
Şekil Ek. 34 : Durum 35 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	112
Şekil Ek. 35 : Durum 36 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	113
Şekil Ek. 36 : Durum 37 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	114
Şekil Ek. 37 : Durum 38 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	115
Şekil Ek. 38 : Durum 39 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	116
Şekil Ek. 39 : Durum 40 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	117
Şekil Ek. 40 : Durum 41 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	118
Şekil Ek. 41 : Durum 42 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	119
Şekil Ek. 42 : Durum 43 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	120
Şekil Ek. 43 : Durum 44 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	121
Şekil Ek. 44 : Durum 45 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	122

Şekil Ek. 45 : Durum 46 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	123
Şekil Ek. 46 : Durum 47 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	124
Şekil Ek. 47 : Durum 48 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	125
Şekil Ek. 48 : Durum 49 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	126
Şekil Ek. 49 : Durum 50 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	127
Şekil Ek. 50 : Durum 51 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	128
Şekil Ek. 51 : Durum 52 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	129
Şekil Ek. 52 : Durum 53 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	130
Şekil Ek. 53 : Durum 54 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	131
Şekil Ek. 54 : Durum 55 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	132
Şekil Ek. 55 : Durum 56 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	133
Şekil Ek. 56 : Durum 57 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	134
Şekil Ek. 57 : Durum 58 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	135
Şekil Ek. 58 : Durum 59 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	136
Şekil Ek. 59 : Durum 60 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	137
Şekil Ek. 60 : Durum 61 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	138
Şekil Ek. 61 : Durum 62 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	139
Şekil Ek. 62 : Durum 63 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	140
Şekil Ek. 63 : Durum 64 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	141
Şekil Ek. 64 : Durum 65 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	142
Şekil Ek. 65 : Durum 66 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	143
Şekil Ek. 66 : Durum 67 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	144
Şekil Ek. 67 : Durum 68 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	145
Şekil Ek. 68 : Durum 69 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	146
Şekil Ek. 69 : Durum 70 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	147
Şekil Ek. 70 : Durum 71 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	148
Şekil Ek. 71 : Durum 72 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	149
Şekil Ek. 72 : Durum 73 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	150
Şekil Ek. 73 : Durum 74 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	151
Şekil Ek. 74 : Durum 75 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	152
Şekil Ek. 75 : Test noktası 1’de ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	164
Şekil Ek. 76 : Test noktası 3’te ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	165
Şekil Ek. 77 : Test noktası 4’te ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	166
Şekil Ek. 78 : Test noktası 5’te ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	167
Şekil Ek. 79 : Test noktası 6’da ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	168
Şekil Ek. 80 : Test noktası 7’de ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	169
Şekil Ek. 81 : Test noktası 8’de ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.....	170
Şekil Ek. 82 : Test noktası 1 için YSA tahmini ve NTL test sonucu karşılaştırması.	173
Şekil Ek. 83 : Test noktası 3 için YSA tahmini ve NTL test sonucu karşılaştırması.	173
Şekil Ek. 84 : Test noktası 4 için YSA tahmini ve NTL test sonucu karşılaştırması.	174
Şekil Ek. 85 : Test noktası 5 için YSA tahmini ve NTL test sonucu karşılaştırması.	174
Şekil Ek. 86 : Test noktası 6 için YSA tahmini ve NTL test sonucu karşılaştırması.	175
Şekil Ek. 87 : Test noktası 7 için YSA tahmini ve NTL test sonucu karşılaştırması.	175

Şekil Ek. 88 : Test noktası 8 için YSA tahmini ve NTL test sonucu karşılaştırması.	176
Şekil Ek. 89 : Test noktası 1 için YSA tahmini ve DTL test sonucu karşılaştırması.	176
Şekil Ek. 90 : Test noktası 3 için YSA tahmini ve DTL test sonucu karşılaştırması.	177
Şekil Ek. 91 : Test noktası 4 için YSA tahmini ve DTL test sonucu karşılaştırması.	177
Şekil Ek. 92 : Test noktası 5 için YSA tahmini ve DTL test sonucu karşılaştırması.	178
Şekil Ek. 93 : Test noktası 6 için YSA tahmini ve DTL test sonucu karşılaştırması.	178
Şekil Ek. 94 : Test noktası 7 için YSA tahmini ve DTL test sonucu karşılaştırması.	179
Şekil Ek. 95 : Test noktası 8 için YSA tahmini ve DTL test sonucu karşılaştırması.	179
Şekil Ek. 96 : Test noktası 1 için YSA tahmini ve NKL test sonucu karşılaştırması.	180
Şekil Ek. 97 : Test noktası 3 için YSA tahmini ve NKL test sonucu karşılaştırması.	180
Şekil Ek. 98 : Test noktası 4 için YSA tahmini ve NKL test sonucu karşılaştırması.	181
Şekil Ek. 99 : Test noktası 5 için YSA tahmini ve NKL test sonucu karşılaştırması.	181
Şekil Ek. 100 : Test noktası 6 için YSA tahmini ve NKL test sonucu karşılaştırması.	182
Şekil Ek. 101 : Test noktası 7 için YSA tahmini ve NKL test sonucu karşılaştırması.	182
Şekil Ek. 102 : Test noktası 8 için YSA tahmini ve NKL test sonucu karşılaştırması.	183
Şekil Ek. 103 : Test noktası 1 için YSA tahmini ve ZL test sonucu karşılaştırması.	183
Şekil Ek. 104 : Test noktası 3 için YSA tahmini ve ZL test sonucu karşılaştırması.	184
Şekil Ek. 105 : Test noktası 4 için YSA tahmini ve ZL test sonucu karşılaştırması.	184
Şekil Ek. 106 : Test noktası 5 için YSA tahmini ve ZL test sonucu karşılaştırması.	185
Şekil Ek. 107 : Test noktası 6 için YSA tahmini ve ZL test sonucu karşılaştırması.	185
Şekil Ek. 108 : Test noktası 7 için YSA tahmini ve ZL test sonucu karşılaştırması.	186
Şekil Ek. 109 : Test noktası 8 için YSA tahmini ve ZL test sonucu karşılaştırması.	186
Şekil Ek. 110 : Test noktası 1 için YSA tahmini ve TPTN test sonucu karşılaştırması.	187
Şekil Ek. 111 : Test noktası 3 için YSA tahmini ve TPTN test sonucu karşılaştırması.	187
Şekil Ek. 112 : Test noktası 4 için YSA tahmini ve TPTN test sonucu karşılaştırması.	188

Şekil Ek. 113 : Test noktası 5 için YSA tahmini ve TPTN test sonucu karşılaştırması.	188
Şekil Ek. 114 : Test noktası 6 için YSA tahmini ve TPTN test sonucu karşılaştırması.	189
Şekil Ek. 115 : Test noktası 7 için YSA tahmini ve TPTN test sonucu karşılaştırması.	189
Şekil Ek. 116 : Test noktası 8 için YSA tahmini ve TPTN test sonucu karşılaştırması.	190
Şekil Ek. 117 : Test noktası 1 için YSA tahmini ve Log-TPTN test sonucu karşılaştırması.	190
Şekil Ek. 118 : Test noktası 3 için YSA tahmini ve Log-TPTN test sonucu karşılaştırması.	191
Şekil Ek. 119 : Test noktası 4 için YSA tahmini ve Log-TPTN test sonucu karşılaştırması.	191
Şekil Ek. 120 : Test noktası 5 için YSA tahmini ve Log-TPTN test sonucu karşılaştırması.	192
Şekil Ek. 121 : Test noktası 6 için YSA tahmini ve Log-TPTN test sonucu karşılaştırması.	192
Şekil Ek. 122 : Test noktası 7 için YSA tahmini ve Log-TPTN test sonucu karşılaştırması.	193
Şekil Ek. 123 : Test noktası 8 için YSA tahmini ve Log-TPTN test sonucu karşılaştırması.	193
Şekil Ek. 124 : Test noktası 1’de NTL ve askeri şartname karşılaştırması.	196
Şekil Ek. 125 : Test noktası 3’te NTL ve askeri şartname karşılaştırması.	196
Şekil Ek. 126 : Test noktası 4’te NTL ve askeri şartname karşılaştırması.	197
Şekil Ek. 127 : Test noktası 5’te NTL ve askeri şartname karşılaştırması.	197
Şekil Ek. 128 : Test noktası 6’da NTL ve askeri şartname karşılaştırması.	198
Şekil Ek. 129 : Test noktası 7’de NTL ve askeri şartname karşılaştırması.	198
Şekil Ek. 130 : Test noktası 8’de NTL ve askeri şartname karşılaştırması.	199
Şekil Ek. 131 : Test noktası 1’de DTL ve askeri şartname karşılaştırması.	199
Şekil Ek. 132 : Test noktası 3’de DTL ve askeri şartname karşılaştırması.	200
Şekil Ek. 133 : Test noktası 4’te DTL ve askeri şartname karşılaştırması.	200
Şekil Ek. 134 : Test noktası 5’te DTL ve askeri şartname karşılaştırması.	201
Şekil Ek. 135 : Test noktası 6’da DTL ve askeri şartname karşılaştırması.	201
Şekil Ek. 136 : Test noktası 7’de DTL ve askeri şartname karşılaştırması.	202
Şekil Ek. 137 : Test noktası 8’de DTL ve askeri şartname karşılaştırması.	202
Şekil Ek. 138 : Test noktası 1’de NKL ve askeri şartname karşılaştırması.	203
Şekil Ek. 139 : Test noktası 3’te NKL ve askeri şartname karşılaştırması.	203
Şekil Ek. 140 : Test noktası 4’te NKL ve askeri şartname karşılaştırması.	204
Şekil Ek. 141 : Test noktası 5’te NKL ve askeri şartname karşılaştırması.	204
Şekil Ek. 142 : Test noktası 6’da NKL ve askeri şartname karşılaştırması.	205
Şekil Ek. 143 : Test noktası 7’de NKL ve askeri şartname karşılaştırması.	205
Şekil Ek. 144 : Test noktası 8’de NKL ve askeri şartname karşılaştırması.	206
Şekil Ek. 145 : Test noktası 1’de ZL ve askeri şartname karşılaştırması.	206
Şekil Ek. 146 : Test noktası 3’te ZL ve askeri şartname karşılaştırması.	207
Şekil Ek. 147 : Test noktası 4’te ZL ve askeri şartname karşılaştırması.	207
Şekil Ek. 148 : Test noktası 5’de ZL ve askeri şartname karşılaştırması.	208
Şekil Ek. 149 : Test noktası 6’da ZL ve askeri şartname karşılaştırması.	208
Şekil Ek. 150 : Test noktası 7’de ZL ve askeri şartname karşılaştırması.	209
Şekil Ek. 151 : Test noktası 8’de ZL ve askeri şartname karşılaştırması.	209

Şekil Ek. 152 : Test noktası 1’de TPTN ve askeri şartname karşılaştırması.	210
Şekil Ek. 153 : Test noktası 3’te TPTN ve askeri şartname karşılaştırması.	210
Şekil Ek. 154 : Test noktası 4’te TPTN ve askeri şartname karşılaştırması.	211
Şekil Ek. 155 : Test noktası 5’te TPTN ve askeri şartname karşılaştırması.	211
Şekil Ek. 156 : Test noktası 6’da TPTN ve askeri şartname karşılaştırması.	212
Şekil Ek. 157 : Test noktası 7’de TPTN ve askeri şartname karşılaştırması.	212
Şekil Ek. 158 : Test noktası 8’de TPTN ve askeri şartname karşılaştırması.	213
Şekil Ek. 159 : Test noktası 1’de Log-TPTN ve askeri şartname karşılaştırması....	213
Şekil Ek. 160 : Test noktası 3’te Log-TPTN ve askeri şartname karşılaştırması.....	214
Şekil Ek. 161 : Test noktası 4’te Log-TPTN ve askeri şartname karşılaştırması.....	214
Şekil Ek. 162 : Test noktası 5’te Log-TPTN ve askeri şartname karşılaştırması.....	215
Şekil Ek. 163 : Test noktası 6’da Log-TPTN ve askeri şartname karşılaştırması....	215
Şekil Ek. 164 : Test noktası 7’de Log-TPTN ve askeri şartname karşılaştırması....	216
Şekil Ek. 165 : Test noktası 8’de Log-TPTN ve askeri şartname karşılaştırması....	216



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Titreşim türleri ve özellikleri	3
Çizelge 1.2 : Titreşim türleri ve özellikleri [20].	10
Çizelge 2.1 : Askeri şartname parametreleri ve değerleri.	24
Çizelge 3.1 : İvmeölçer özellikleri [66].	28
Çizelge 3.2 : Tolerans limitlerinde kullanılan parametreler ve değerleri [67].	28
Çizelge 4.1 : Durum 1 için parametre sabitlerinin değerleri.....	35
Çizelge 4.2 : Test noktası 2 için deneysel parametre sabitlerinin değerleri.....	37
Çizelge 4.3 : YSA hesaplamalarında kullanılan parametreler ve değerleri.	37
Çizelge 4.4 : Test noktalarında YSA tahmini NTL değerleri.	38
Çizelge 4.5 : Test noktalarında YSA tahmini DTL değerleri.	39
Çizelge 4.6 : Test noktalarında YSA tahmini NKL değerleri.....	40
Çizelge 4.7 : Test noktalarında YSA tahmini ZL değerleri.	40
Çizelge 4.8 : Test noktalarında YSA tahmini TPTN değerleri.	41
Çizelge 4.9 : Test noktalarında YSA tahmini Log-TPTN değerleri.	42
Çizelge 4.10 : NTL için test koşullarında YSA performansı (W_1, W_2).	42
Çizelge 4.11 : NTL için test koşullarında YSA performansı(f_1, f_2).	43
Çizelge 4.12 : DTL için test koşullarında YSA performansı (W_1, W_2).	44
Çizelge 4.13 : DTL için test koşullarında YSA performansı (f_1, f_2).	44
Çizelge 4.14 : NKL için test koşullarında YSA performansı (W_1, W_2).	45
Çizelge 4.15 : NKL için test koşullarında YSA performansı (f_1, f_2).	46
Çizelge 4.16 : ZL için test koşullarında YSA performansı (W_1, W_2).	47
Çizelge 4.17 : ZL için test koşullarında YSA performansı (f_1, f_2).	47
Çizelge 4.18 : TPTN için test koşullarında YSA performansı (W_1, W_2).	48
Çizelge 4.19 : TPTN için test koşullarında YSA performansı (f_1, f_2).	48
Çizelge 4.20 : Log-TPTN için test koşullarında YSA performansı (W_1, W_2).	49
Çizelge 4.21 : Log-TPTN için test koşullarında YSA performansı (f_1, f_2).	50
Çizelge 4.22 : Tolerans limitleri performansını karşılaştırması.	51
Çizelge 5.1 : Yüklerin karşılaştırması.	57
Çizelge Ek. 1 : Test noktalarında uçuş parametreleri.	78
Çizelge Ek. 2 : NTL parametre sabitlerinin değerleri.	153
Çizelge Ek. 3 : DTL parametre sabitlerinin değerleri.	154
Çizelge Ek. 4 : NKL parametre sabitlerinin değerleri.....	156
Çizelge Ek. 5 : ZL parametre sabitlerinin değerleri.	158
Çizelge Ek. 6 : Log-TPTN parametre sabitlerinin değerleri.	160
Çizelge Ek. 7 : TPTN parametre sabitlerinin değerleri.....	161
Çizelge Ek. 8 : Test noktalarında NTL parametre sabitleri değerleri.	171
Çizelge Ek. 9 : Test noktalarında DTL parametre sabitleri değerleri.	171
Çizelge Ek. 10 : Test noktalarında NKL parametre sabitleri değerleri.....	171
Çizelge Ek. 11 : Test noktalarında ZL parametre sabitleri değerleri.	172
Çizelge Ek. 12 : Test noktalarında TPTN parametre sabitleri değerleri.	172
Çizelge Ek. 13 : Test noktalarında Log-TPTN parametre sabitleri değerleri.	172

Çizelge Ek. 14 : Test noktalarında YSA tahmini NTL değerleri.....	194
Çizelge Ek. 15 : Test noktalarında YSA tahmini DTL değerleri.....	194
Çizelge Ek. 16 : Test noktalarında YSA tahmini NKL değerleri.....	194
Çizelge Ek. 17 : Test noktalarında YSA tahmini ZL değerleri.....	195
Çizelge Ek. 18 : Test noktalarında YSA tahmini TPTN değerleri.....	195
Çizelge Ek. 19 : Test noktalarında YSA tahmini Log-TPTN değerleri.....	195
Çizelge Ek. 20 : Hesaplamalarda kullanılan bilgisayar özellikleri	224



KISALTMALAR

İÖ	: İvmeölçer
NTL	: Normal Tolerans Limiti
NKL	: Normal Kestirim Limiti
DTL	: Dağılımdan Bağımsız Tolerans Limiti
ZL	: Zarf Limiti
TPTN	: Üçüncü Dereceden Normal Polinom Dönüşümü
Log-TPTN	: Üçüncü Dereceden Logaritmik Polinom Dönüşümü
YSA	: Yapay Sinir Ağı
IGSY	: İvme Güç Spektrumu
TS	: Test Spektrumu
AK	: Aerodinamik Kirli
AT	: Aerodinamik Temiz
F/16	: Savaşan Şahin Savaş Uçağı
F/15	: Kartal Savaş Uçağı
F/18	: Eşekarı Savaş Uçağı
BRU-32	: Faydalı Yük Taşıma Salanı-32
Mau-12	: Faydalı Yük Taşıma Salanı-12
Mk-83	: Mark-83 Harp Başlığı
RMS	: Ortalama Karekök
gRMS	: Yerçekimi İvmesi Biriminde Ortalama Karekök
TMIN	: Topoloji Tasarım Değişkeninin En Küçük Değeri
RV1	: Eniyileme Sabiti-1
RV2	: Eniyileme Sabiti-2
RV2	: Eniyileme Sabiti-3
DELT	: Oransal Kısıt
DTMIN	: En Küçük Kısıt
LB	: Alt Sınır
UB	: Üst Sınır
KDF	: Kümülatif Dağılım Fonksiyonu
Psf	: Feet Cinsinden Birim Alana Düşen Pound
FFB	: İleri Beslemeli Geri Yayılımlı
LM	: Levenberg-Marquardt
GDM	: Momentumlu Alçalma Eğimi
MSE	: Ortalama Hatanın Karesi
VTS	: Veri Toplama Sistemi

SEMBOL LİSTESİ

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
db	Desibel
E	Elastisite modülü
E_x	Beklenen değer
E_0	Başlangıç elastisite modülü
f_1	İGSY frekans bileşeni-1
f_2	İGSY frekans bileşeni-2
f	Frekans
f_i	Sistemin baskın doğal frekansı
ft	Uçuş irtifası (<i>İng. feet</i>)
g	Yerçekimi ivmesi
GPa	Gigapaskal
Hz	Hertz
K	Düşük frekans genliği hesaplama sabiti
k_f	Normal tolerans faktörü
kg	Kilogram
R	Faydalı yük çapı
P	Güç spectrum yoğunluğu
q	Dinamik basınç
Q	Yükseltme faktörü
M	Eğim
m^3	Metreküp
Ma	Mach sayısı
MPa	Megapaskal
mV	Milivolt
ρ_0	İlgili uçuş irtifasına hava yoğunluğu
s_y	Standart sapma
T	Bir zaman dilimi
t	Zaman
th	Faydalı yük kalınlığı
w_i	Girdi ağırlıkları
W_1	İGSY genlik bileşeni-1
W_2	İGSY genlik bileşeni-2
X	Topoloji tasarım değişkeni
x	Tolerans limitinde kullanılan değişken
x_i	Girdi değerleri
u^k	Girdilerin ağırlıkları toplamı
V_a	Uçuş hızı

y	Değişkenin logaritmik dönüşümü
y^k	Aktivasyon fonksiyonu
y_{ort}	Ortalama
σ_{Tepe}	Eşdeğer statik yük
α_i	Polinom sabitleri
β	Kapsama
γ	Güvence seviyesi
ζ	Ampirik kümülatif dağılım fonksiyonu
Φ	Normal dağılım fonksiyonu
φ	Yapay sinir ağı fonksiyonu
ρ_0	Başlangıç yoğunluğu
ρ	Yoğunluk



RESİM LİSTESİ

Sayfa

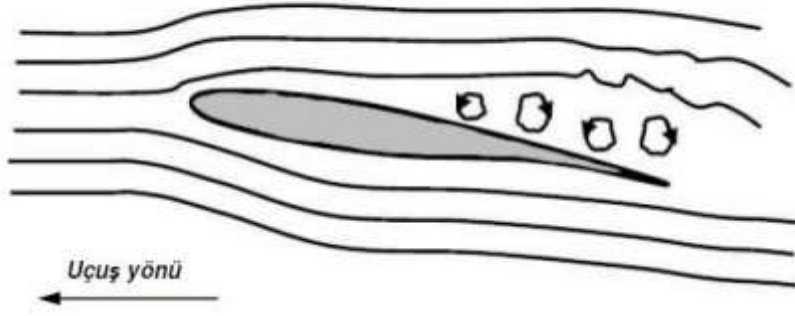
Resim 1.1 : Tacoma köprüsü kaza anı görüntüsü [7].....	4
Resim 1.2 : G-180A uçağı ve uçak kazası enkaz görüntüsü [8].	4
Resim 1.3 : Lockheed L-188 elektra uçağı kazası enkaz görüntüsü [9].	5
Resim 1.4 : Titreşim yalıtıcı resmi [10].	5
Resim 1.5 : Elektrodinamik sarsıcı resmi [11].....	6
Resim 1.6 : Faydalı yük resmi [14].....	6
Resim 1.7 : Salan ve unsurlarının gösterildiğı resim [19].....	9
Resim 3.1 : Ölçümlendirilen faydalı yükü gösteren resim.....	27

1. GİRİŞ

1.1. Genel Bilgiler

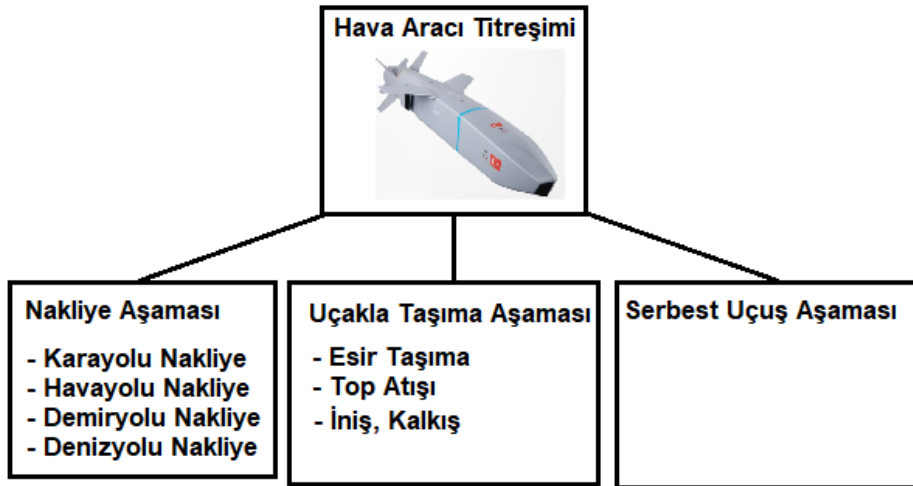
Hava araçları içerisinde mekanik, aviyonik, elektronik, hidrolik, piroteknik, patlayıcı vb. ekipmanların bulunduğu kompleks sistemlerdir. Bir çok mühendislik disiplininin ortak çalışması sonucu ortaya çıkarlar. Bu tür araçların tasarımı en zorlayıcı mühendislik problemlerinden birisidir. Bu problemlerin çözümünde tasarım, analiz ve eniyileme yöntemlerine yönelik araçlar olsa dahi, gerçek çalışma koşullarını simüle eden yer testleri, uçuş testleri öncesi elzemdir. Bununla beraber uçuşa elverişlilik için de bir çok yer testinin tamamlanmış olması titizlikle incelenmektedir. Özellikle askeri türde hava araçlarının, ticari türdeki araçlara kıyasla daha sert koşullarda test gereksinimlerinin olduğu söylenebilir. Askeri el kitaplarında [1]. bu testlerin hem yer hem de uçuş aşamasında nasıl bir prosedür ile yapıldığı, sonuçların nasıl incelenmesi gerektiği detaylıca anlatılmaktadır.

Havacılık yapıları zorlu çevresel şartlara maruz kalırlar. Bu çevresel koşullardan en zorlayıcı olanı titreşim ortamıdır. Titreşim, yapıların bir denge noktası etrafında döngüsel veya tekrarlı olarak periyodik hareket etmesidir [2]. Yüksek hızlı akış altında havacılık yapılarında oluşan titreşim; statik hasar, döngüsel etki sonucu yorulma ve çatlak oluşumu gibi etkiler neticesinde ciddi kırımlar ve kazalara neden olabilir. Uçaklarda kanatçık, kanat ve flap gibi parçalar titreşim kaynağı olarak tehlikeli titreşimler oluşturabilir. Bu kontrol yüzeyleri yapı üzerindeki titreşimin en büyük etkenlerdendir [3]. Bir uçak kanadının üzerindeki laminar akış ve ufak girdaplar Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1 : Uçak kanadı üzerinde akış çizgileri [3].

Havacılık yapılarında titreşim değişik aşamalarda görülebilir. Bu aşamalar hava aracının depolama ortamından, taşınmasına ve görev yapmasına kadar geçen süreçleri kapsar. Şekil 1.2’de bir faydalı yükün ömür döngüsü boyunca maruz kaldığı titreşim ortamı aşamaları verilmiştir [4].



Şekil 1.2 : Uçak kanadı üzerinde akış çizgileri Faydalı yük ömür döngüsünde titreşim yüklerinin etkilediği aşamalar.

Bir yapıda meydana gelen titreşim türü özellikleri Çizelge 1.1’de verilmiştir. Havacılık yapılarında titreşimin kaynağı genelde hava akışı olup, bu özelliği ile zorlanmış olarak ifade edilebilir. Yapılarda sönüm özelliği bulunmaktadır. Özellikle faydalı yüklerde uçak bağlantısının yapıldığı salan yapıları, yapısı ve faydalı yüke bağlantı şekli itibariyle sistemi doğrusal olmayan (İng. Non-linear) özelliğe sokar. Havacılık yapılarında titreşimin genliği ve frekansı değişkenlik gösterdiği için rastgele karakteristiği gösterir [5].

Çizelge 1.1 : Titreşim türleri ve özellikleri

Tür	Özellik
Dış tahrik	<ul style="list-style-type: none">• Serbest• Zorlanmış
Sönüm Özelliği	<ul style="list-style-type: none">• Sönümsüz• Sönümlü
Doğrusallık	<ul style="list-style-type: none">• Doğrusal• Doğrusal olmayan
Muhteviyat	<ul style="list-style-type: none">• Deterministik• Rastgele

Rastgele titreşimler, istatistiksel özelliklerden olan ortalama, standart sapma ve ortalama karekök toplamı gibi parametrelerin zamanla değişmesine göre iki gruba ayrılır. Eğer bu özellikler zamanla değişiyorsa, titreşim ortamı durağan olmayan olarak ifade edilir. Bu özellikler zamanla değişmiyorsa, titreşim ortamı durağandır. Havacılık yapılarında genellikle manevra yapılmayan, sabit irtifa ve hızda gerçekleştirilen uçuşlar durağan özellik gösterir [6].

Titreşim neticesinde parça iç yapısında oluşan gerilme artışı yapısal malzemelerde mukavemet ve direnç kaybına yol açtığından, yapının yapısal bütünlüğü üzerinde ciddi risk teşkil eder. Bu risk ciddi kazalara sebebiyet verebilir. Bu kazalar can ve mal kayıpları ile sonuçlanabilir. Örneğin, Tacoma köprüsü kazası hava akışı kaynaklı titreşim sebebiyle meydana gelmiştir. Yapı şiddetli rüzgâr olan bir konumda inşa edilmiş olup, titreşim neticesinde yüksek deplasmanda salınım sonucu yıkıma uğramıştır [7]. Yapının yıkılma anında görseli Resim 1.1'de verilmiştir.



Resim 1.1 : Tacoma köprüsü kaza anı görüntüsü [7].

G-180A uçağı prototipi çarpıntı testleri sırasında beklenmeyen bir şekilde aniden kontrolünü kaybetmiş ve düşmüştür [8]. Kazada pilot ağır bir şekilde yaralanmıştır. Resim 1.2’de uçağı ve düşen uçağı ait enkaz görüntüleri mevcuttur.



Resim 1.2 : G-180A uçağı ve uçak kazası enkaz görüntüsü [8].

Braniff uluslararası havayolu şirketinin 542 numaralı uçuşuna ait Lockheed L-188 elektra uçağı kalkıştan 23 dakika sonra düşmüştür [9]. Kazada tüm mürettebat ve yolcular hayatını kaybetmiştir. Kaza sonrası incelemelerde sol kanadın çarpıntı neticesinde kırılma uğradığı ve uçağın düşmesine sebebiyet verdiği açıklanmıştır. Kazaya ait enkaz Resim 1.3’te verilmiştir.



Resim 1.3 : Lockheed L-188 elektra uçağı kazası enkaz görüntüsü [9].

Yüksek hızlı hava aracının görev başarısı yapısal bütünlüğünü korumasına bağlıdır. Yapılardaki titreşim mekanik parçalarda hasara sebebiyet verdiği gibi elektronik kart kutuları, hassas konum ve ivmeölçer gibi ekipmanların bozulmasına ve hatalı ölçüm üretmesine neden olabilir. Nitekim bu yapılardan kritik öneme sahip olan bileşenlerde titreşim yalıtıcı gibi parçalar kullanılmaktadır. Bir titreşim yalıtıcı görseli Resim 1.4’te verilmiştir [10].



Resim 1.4 : Titreşim yalıtıcı resmi [10].

Havacılık yapılarının uçuş aşaması öncesi testleri, elektrodinamik sarsıcılar ile yapılmaktadır. Helikopter, uçak gibi hava araçlarının ve alt sistemlerinin ilk uçuşu öncesinde sarsıcı testleri yüksek önem taşımaktadır [11]. Bu sarsıcılar yüksek frekanslarda girdi verebilmektedir. Hava araçları çarpıntı karakteristiklerinin belirlenebilmesi için özel ekipmanlar ile askılanıp düşük frekans girdileri ile test

edilebilmektedir [12]. Örnek bir sarsıcı Resim 1.5'te verilmiştir. Bu tür testlerde havacılık yapılarına uygulanan yükler frekans tabanında ivme güç spektrumu şeklindedir. Güç spektrumu yoğunluğu ilgili sinyalin frekans bantlarındaki enerji seviyelerini tanımlar [13].



Resim 1.5 : Elektrodinamik sarsıcı resmi [11].

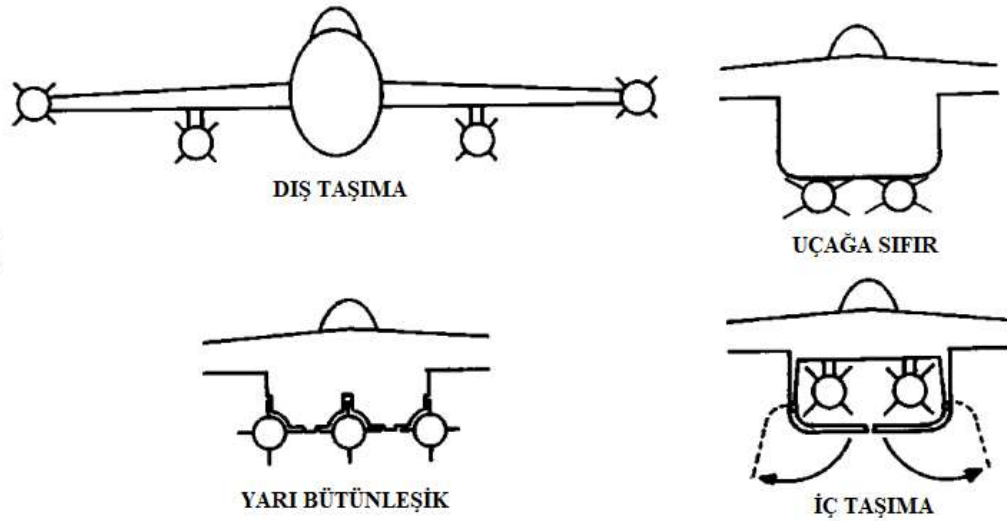
Faydalı yük, uçaklara bağlı olarak taşınan, gerektiğinde yere bırakılan ve farklı görevleri olan araçlar olarak tanımlanır. Yardım için atılan bir erzak, yakıt tankı, harp podu, füze ve bombalar faydalı yük olarak tanımlanabilir. Bir faydalı yük görseli Resim 1.6'da verilmiştir [14].



Resim 1.6 : Faydalı yük resmi [14].

Faydalı yükler genelde uçakların dış istasyonlarında taşınır. Dış istasyonda yük taşınmasının iç istasyona göre bir çok avantajı bulunmaktadır. Bu avantajlar basit

montajlanabilirlik, operasyonel esneklik, kolay uçaktan ayrılma vb. olarak sıralanabilir. Bununla beraber dış istasyonda taşınan faydalı yüklerin üzerinde hava akışı kaynaklı kuvvet ve momentler meydana gelir. Dış taşıma ile donatılmış faydalı yüklere sahip uçakların süpersonik uçuşlarda ayrılmış akış (*İng. Buffet*) ve sürüklenme kuvveti (*İng. Drag force*) nedeniyle zorlandığı bilinmektedir. Uçakla taşıma opsiyonları Şekil 1.3'te verilmiştir. Burada yarı-bütünleşik (*İng. Submerged*) ve uçağa sıfır (*İng. Conformal*) taşıma seçenekleri görülmektedir. Bu seçenekler uçak üzerindeki akışın bozulmasını önlemek için türetilmiştir [15].



Şekil 1.3 : Faydalı yüklerin uçakla taşınma türleri görseli [15].

Uçakların birden çok dış taşıma istasyonları bulunmaktadır. Bunlardan bazıları hava savunma füzeleri için özel olarak yapılmıştır. Bazıları ise yere atılan füzeler için kullanılmaktadır. F/16 için istasyonlar ve faydalı yük kullanım alanlarının gösterimi Şekil 1.4'te verilmiştir. Hava savunma füzeleri genellikle 1, 2, 8 ve 9 numaralı istasyonlarda taşınır. Bu istasyonlarda füze ile uçak arasında lançer yapıları bulunur. Yer hedeflerine atılan faydalı yükler ve harici yakıt tankları ise 3, 4, 6 ve 7 numaralı istasyonlarda bulunur. 5, 5R ve 5L numaralı istasyonlarda ise harp podları bulunmaktadır. Bu istasyonlarda uçak ile faydalı yük arasında salan yapıları bulunmaktadır [16].



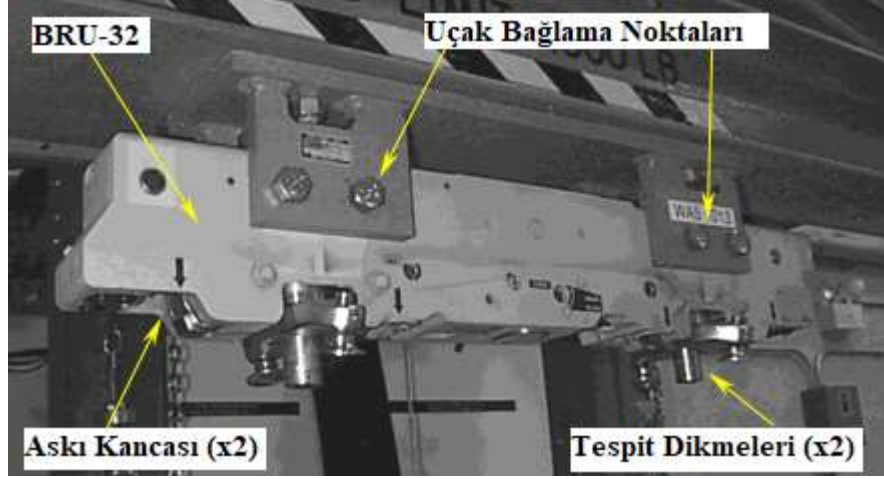
Şekil 1.4 : F/16 uçağı faydalı yük istasyonları [16].

Salan yapıları, faydalı yük ile uçak arasında bulunan, gerektiğinde faydalı yükün serbest bırakılmasını sağlayan mekanizmaları ihtiva eden askılama sistemleridir. Salan yapısı daha çok harici yakıt tankları, güdümlü füzeler, elektronik harp podlarının taşınmasına kullanılır. F/16 uçağında 3-7 istasyonları arasında Mau-12 salanı kullanılmaktadır [17]. Hava aracı ile faydalı yük arasındaki bağlantı görseli Şekil 1.5'te gösterilmiştir [18].



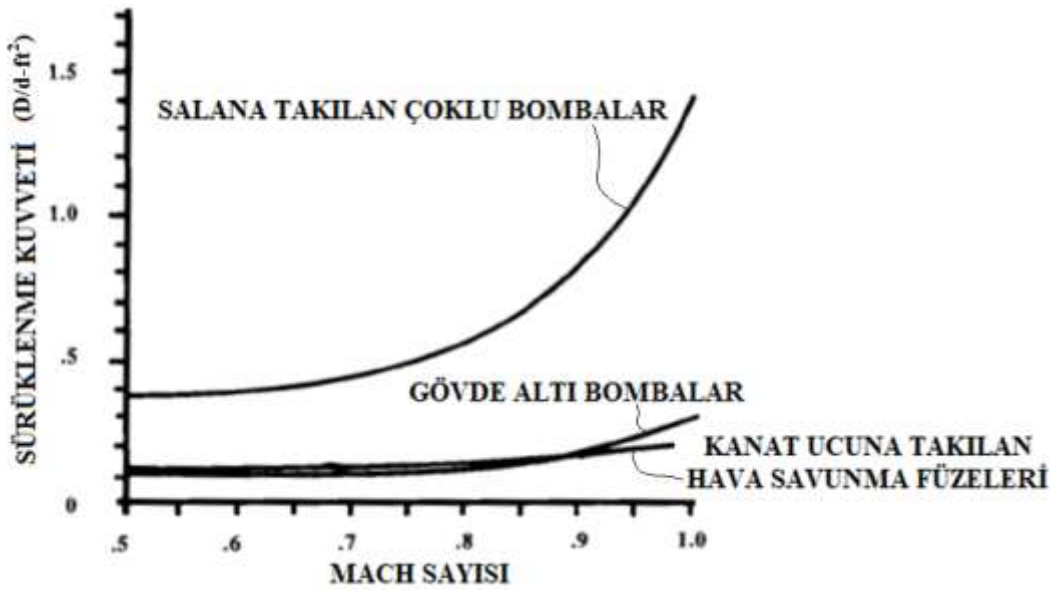
Şekil 1.5 : Uçak-Faydalı yük arayüzü görseli [18].

Salan yapısında iki adet askı kancası bulunmaktadır. Bunlar faydalı yükte bulunan askı kulplarına kilitlenirler. Bununla beraber faydalı yükün yanca ekseninde pozitif temas sağlayan tespit dikmeleri de bulunmaktadır. Tespit dikmeleri askı kulpları takıldıktan sonra dişli yapısı kullanılarak, faydalı yükün sağlamca uçağı bağlanmasını sağlar [19]. Salan ve unsurlarının anlatıldığı görsel Resim 1.7'de verilmiştir.



Resim 1.7 : Salan ve unsurlarının gösterildiği resim [19].

Uçakların bazı faydalı yük taşıma istasyonlarında diğerlerine göre yüksek aerodinamik kuvvetlerin oluştuğu bilinmektedir. Hava savunma füzelerinin takıldığı uç istasyonlarda daha düşük sürüklenme kuvveti bulunmaktadır. Bunun nedenleri arasında bu tür füzelerin, yer füzeleri, yakıt tankları ve elektronik harp podlarına göre ince olması gösterilebilir. Şekil 1.6'da uçak istasyonlarının uçak bütünü üzerinde oluşturduğu sürüklenme kuvvetleri verilmiştir. Buna göre en çok kuvvet salan yapılarına takılan ve kanat altında yer alan istasyonlardaki faydalı yük neticesinde oluşmaktadır. Salan yapılarına takılan faydalı yüklerin en yüksek yüke maruz kaldığı söylenebilir [15].



Şekil 1.6 : Farklı istasyonlardaki faydalı yük sürüklenme kuvvetleri [15].

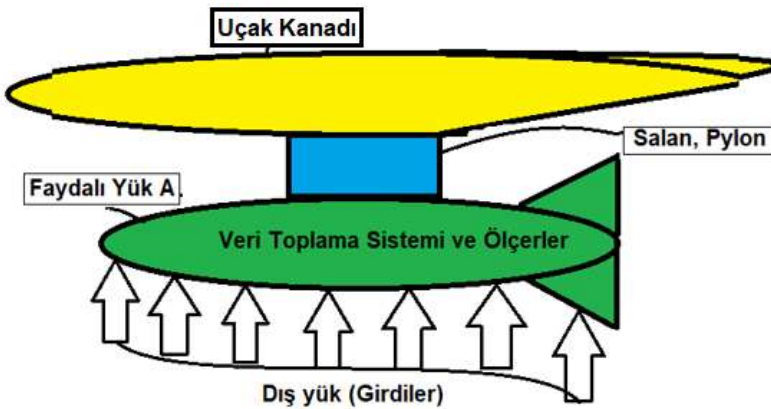
Hava araçlarında meydana gelen titreşimin bir çok kök sebebi olabilir. Aerodinamik akış etkileri, mekanik ekipmanlarda boşluk veya bozulma, atmosferik türbülans, ayrılmış akış (*Ing. Buffet*) ve çarpıntı bu sebepler arasında gösterilebilir. Çarpıntı, ayrılmış akış ve aerodinamik akış etkileri değişik frekanslarda meydana gelebilir. Bu titreşim türlerinin etkili olduğu frekans bantları Çizelge 1.2’de verilmiştir. Buna göre çarpıntı 2-30 Hz arasında meydana gelir. Ayrılmış akış ise 5-500 Hz arası görülür. Bununla beraber hava kışı etkisi 100-2000 Hz arasında seyrederek [20]. Ortamdaki titreşim seviyesinin faydalı yük tasarımından önce bilinmesi önemlidir.

Çizelge 1.2 : Titreşim türleri ve özellikleri [20].

Titreşim kaynağı	Etkili frekans bandı (Hz)
Hava akışı etkisi	100-2000
Çarpıntı	2-30
Ayrılmış akış	5-500

1.2. Problemin Tanımı

Tez konusu faydalı yükün şematik görseli Şekil 1.7’de verilmiştir. Faydalı yük olarak güdüm kit ile donatılmış kütle eşdeğer Mk-83 harp başlığı kullanılmaktadır [21]. Yükleme aerodinamik hava akışının bir fonksiyonu olup uçuş irtifası ve hızına göre değişmektedir. Yükleme frekans bandında analitik veya nümerik metotlarla hesaplamak güçtür. Faydalı yük, tek motorlu jeti tipi bir savaş uçağında hava-yer istasyonunda taşınmaktadır. Faydalı yük ile uçak arasında salan bulunmaktadır. Faydalı yük içinde bulunan ekipmanlarının üstünde ivmeölçer duyargaları bulunmaktadır. Bu duyargalar faydalı yükün ağırlık merkezi bölgesinde konumlandırılmıştır.



Şekil 1.7 : Problemin tanımına ait şematik gösterim.

1.3. Literatür Araştırması

Askeri şartnameler, test seviyelerinin belirlenmesinde ve test prosedürlerinin uygulanmasında sıklıkla kullanılmaktadır. Şartnamelerdeki seviyelerin aşırı güvenli olduğuyla ilgili birçok araştırma yapılmıştır. Kim vd. [22] yüksek hızlı bir hava aracı içinde bulunan ekipmanların maruz kaldığı rastgele titreşim seviyesi değerlerini deneysel olarak çalışmıştır. Çalışma hava aracının birçok bölgesindeki ivmeölçer duyarları kullanılarak yapılmış, veriler daha sonra frekans tabanına çevrilmiştir. Sonuçlara dikkat edildiğinde titreşim seviyelerinin, askeri şartnameye göre düşük seviyede kaldığı görülmektedir. Askeri şartnamelerde anılan titreşim seviyelerinin yüksekliği ve bunun kullanımının yarattığı etkiler ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır [23-25]. Askeri şartnamelerin yüksek seviye tercih etmesinde hava araçlarında meydana gelen titreşim ortamının hassas ekipmanlar üzerinde etkisini incelemek rol oynamaktadır [26]. Özellikle elektronik aksamda sıkıntılar olabileceği değerlendirilmektedir [27]. Bazı el kitaplarında ölçüm sonucunun ilk olarak kullanılması gerektiği, askeri şartnamelerin eğer hiç bir veri yoksa kullanılması gerektiği ifade edilmektedir [28]. Bu şartnamelerin kullanılmasında aşağıda listelenen dezavantajlara bulunmaktadır [29].

- Yüksek titreşim koşulları parçaların aşırı güvenli tasarlanmasına neden olabilir.
- Test sırasında gerçekçi olmayan hatalar görülebilir.
- Yüksek titreşim koşullarını sağlayan test merkezi bulunamayabilir.
- Gerçekçi olmayan test koşulu nedeniyle tasarım süresi uzayabilir.
- Askeri şartnamede aerodinamik kirli ve temiz terimlerini ayırt etmesi zor olabilir.
- Askeri şartnamedeki bazı katsayılar tam olarak faydalı yük türlerinin tüm özelliklerini yansıtmayabilir.

Steininger vd. [30] dış istasyonda taşınan bir faydalı yükün maruz kaldığı en şiddetli titreşim seviyesinin uçak hızı olarak 0.9-0.95 Mach sayısı civarı meydana geldiğini göstermiştir. Mach sayısı g-RMS eğrisi üstel dağılım özelliği göstermektedir. Alçak irtifada olan uçuşlarda titreşim seviyelerinin daha yüksek olduğu gösterilmiştir. Corda'nın [31] yaptığı çalışmada F-15 uçağına bir ölçüm podu takılmış, farklı uçuş

durumlarında ölçüm podunun düşük ve yüksek frekans bantlarında dinamik davranışı incelenmiştir. Birçok uçuş koşulu için faydalı yük ivme güç spektrumlarının düşük frekans bantlarında, yüksek frekans bantlarına göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Sevy vd. [32] farklı tipte uçaklar için frekans bandında ekipman davranışları üzerine çalışmıştır. Bu çalışmaya göre F/16 parçalarının titreşim cevabının F/15'e göre yüksek frekans bantlarında daha düşük genlikli oldukları görülmektedir. Bunun nedeni olarak F/15 uçağının F/16'ya göre daha ince olması gösterilebilir.

Bir uçak ekipmanının uçuş esnasında, uçuş parametreleri cinsinden çıktı cevapları ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Yıldız [33] jet tipi bir hava aracı için çarpıntı tahmini yapmıştır. Çalışmada literatürdeki yaklaşımlar deneysel veriler ile kıyaslanmış, hesaplamalarda farklı olarak dalgacık dönüşümünden faydalanılmıştır. Doğrusal olmayan etkiler Volterra serisi açılımı kullanılarak azaltılmıştır. Kutluay vd. [34] tek atımlık otonom bir hava aracının aerodinamik sabitlerini uçuş testleri ile yapay sinir ağları (YSA) kullanarak tahmin etmiştir. Mallick vd. [35] C şeklinde yapıların üzerinde oluşan basınç sabitlerini YSA grup yöntemi kullanarak hesaplamıştır. Girdi-çıkı ilişkisini inşa etmek için kapsamlı rüzgâr tüneli testi çalışmaları yapılmıştır. Mazhar vd. [36] bir zeplinin uzunlamasına dinamik davranışını doğrusal olmayan otoregresyon tabanlı YSA kullanarak bulmuştur. Sınırlı sayıda test yapılmasına rağmen verilerin doğru olduğu ortaya konulmuştur. Sonuçlar aynı zamanda aynı zeplin türü ile daha önce yapılan deneysel çalışma ile doğrulanmıştır. Quaranta vd. [37] yolcu uçaklarının akustik ses izlerini YSA kullanarak tahmin etmiştir. Beş farklı uçak ile yükselme ve alçalma durumları için çalışmalar yapılmıştır. Halle vd. [38] dik kuyruk kanatçığının üzerinde oluşan kuvvet ve momentleri yerel YSA algoritması kullanarak hesaplamıştır. Girdi parametreleri olarak hücum açısı, yük faktörleri, dinamik basınç, hava aracı kütlesi, kanatçık süpürme açısı ve dönü ivmeleri kullanılmıştır. Çalışkan vd. [39] askeri ve sivil hava araçları için buzlanma tahmini yapan bir yöntem geliştirmiştir. Çalışmada YSA eğitimleri yapılmış ve Kalman filtresi tahminleri kullanılmıştır. Crowther vd. [40] dört motorlu nakliye uçağı için çarpıntı tahmini yapmıştır. Hesaplama aeroelastik model kullanılmış, YSA tahmini sonuçlarının istatistiksel yöntemler ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Fablec ve Alliot [41] uçakların yere göre dik ekseninde yörüngelerinin tahminini YSA kullanarak yapmıştır. Girdi parametresi olarak yörünge değerlerinin önceki durumlarının

kullanıldığı sinir ağları gerçek duruma göre %6 hata oranına sahiptir. Norgaar vd. [42] rüzgâr tüneli testlerinin maliyetini azaltmak için çok katmanlı algılayıcı türünde hibrit bir yapay sinir ağı geliştirmiştir. Sürüklenme kuvveti, taşıma kuvveti, taşıma kuvvetinin sürüklenme kuvvetine oranı ve yunuslama momenti tahmin edilmiş olup, girdi parametresi olarak uçak hücum açısı ve kontrol yüzeyleri açıları kullanılmıştır. Çalışma sonunda yalnızca gerçek değerlere çok yakın katsayı değerleri elde edilmemiş, aynı zamanda rüzgâr tüneli testlerinden %40 oranında maliyet azalması ortaya çıkmıştır. Byington vd. [43] yapay sinir ağlarını, bulanık mantık tabanlı bir sınıflandırma aracı kullanarak uçak hidrolik sistemi ile ilgili hasar durumu kestirimi yapmıştır. Çalışmada öncelikle sistemsel özellikler belirlenmiştir. Bu özelliklerin belirlenmesinde frekans bantlarındaki cevapların karekök ortalamalarına bakılmıştır. Bir diğer özellik olarak ise yapay sinir ağları kullanılarak tahmin edilen hidrolik valf pozisyon değeri ile deneysel değeri arasındaki farkın karekök ortalaması kullanılmıştır. Belirtilen özellikler daha sonra bulanık mantık ve Kalman filtresi kullanılarak sıfır ile bir arasında değişen gerçek zamanlı hasar endeksini bulmak ve gelecek zamandaki bozulmanın ne zaman meydana geleceğini hesaplamakta kullanılmıştır. Sonuçlara dikkat edildiğinde %4 gibi küçük bir hata ile hidrolik sistemdeki bozulma endeksinin tahmin edildiği görülmüştür. Trivailo ve Carn [44] F/18 savaş uçağının kuyruk kanatçığı üzerindeki düşük ve yüksek frekanslı yükleri tahmin etmek için yapay sinir ağlarını kullanmıştır. Çalışmada yapay sinir ağları eğitimleri için yer testleri yapılmış, düşük frekanslı yüklerin ilişkisinde yük ölçergerinin pulu verileri, yüksek frekanslı yüklerin ilişkisinde ise dinamik sarsıcı-gerinim pulu verileri kullanılmıştır. Çalışmada en iyi performansı elman tipi geri yayılma özelliğindeki yapay sinir ağları vermiş olup, bu ağın uçuş testleri ile yapılan tahminlerinin gerçek veriler ile uyumlu olduğu bildirilmiştir. Cao vd. [45] uçak kanatlarında oluşan yükleri tahmin etmek için çok katmanlı yapay sinir ağları kullanmıştır. Yapay sinir ağları eğitimi için yer ortamında test sistemi kurulmuştur. Bu testler ile gerinim pullarından toplanan gerinim değerleri ile yük ölçerden alınan kuvvet değerleri kalibre edilmiştir. Yapay sinir ağlarının yakınsamasının seçilen girdi parametrelerine bağlı olduğu, bazı durumlarda ıraksamanın olabileceği görülmüştür. Berke vd. [46] yapay sinir ağlarını yapısal eniyileme programlarının çıktısı olan yapısal parçaların kabul edilebilir olanlarının seçilmesinde kullanmıştır.

1.4. Tezin Önemi ve Hedefi

Hava araçları, alt sistemleri ve ekipmanlarının esir taşıma sırasında maruz kaldığı titreşim seviyelerinin doğru bir şekilde bilinmesi önemlidir. Kavramsal tasarım sürecinden uçuş testi ve sertifikasyon sürecine kadar bu değerler kullanılmaktadır. Bu değerlerin kavramsal tasarım aşamasında kullanılması yapıların kalın ve ağır olmasına yol açabilir. Bununla beraber yer testlerinde aşırı korunumlu titreşim seviyesi ile test yapılması gerçekçi olmayan kısımlar ve bozulmalara neden olur. Bu etkiler havacılık projelerine maliyet ve zaman kaybı olarak yansımaktadır. Tasarım aşamasında yüksek seçilen titreşim seviyesi, sertifikasyon ve uçuş testleri aşamasında fark edilse dahi, seviyeleri azaltmak suretiyle kavramsal tasarıma dönüş ve yapısal eniyileme gibi kütle azaltma eforları genellikle yapılmaz. Bunun nedeni ürünlerin halihazırda uçuş testinden önceki birçok zorlu evreyi tamamlamasıdır. Bir diğer taraftan ise titreşim seviyeleri olarak düşük değerlerin kullanımı yapıların zayıf kalmasına ve görevi esnasında kırılma uğramasına sebebiyet verebilir. Havacılık yapılarında oluşan titreşim seviyelerinin analitik veya nümerik yöntemler ile hesaplanması ise oldukça zorlayıcıdır. Bunun nedeni yapılardaki yüksek doğrusalsızlık ve hava akışının titreşim kaynağı olarak havacılık yapısının hangi bölgesine etki ettiğinin tespitinin zor olmasıdır. Analitik veya nümerik hesaplamalardaki bu darboğazlar, test verileri ile bir yaklaşım yapmanın ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Test verileri kullanılarak geliştirilen bir tahmin yöntemi ile güvenilir bir dinamik model oluşturabilir.

Tez kapsamında, esir taşıma durumundaki bir faydalı yükün içinde bulunan ekipmanların maruz kaldığı titreşim seviyesini, uçak irtifası ve Mach sayısına bağlı olarak dört parametre şeklinde frekans tabanında tahmin etmeyi sağlayan bir yöntem geliştirilmiştir. Literatürde titreşim seviyesinin frekans tabanında dört parametre olarak tahminine rastlanmamıştır. Geliştirilen tahmin yöntemi, test verilerine dayandığı için, analiz gibi araçlardan daha güvenilirdir. Test verileri içinde ölçümlendirme yapılmayan bölgelerdeki hassasiyet kaybını gidermek için verilere bir miktar güvenlik payı ekleyen tolerans yöntemleri kullanılmıştır. Tez kapsamında geliştirilen yöntemin, titreşim seviyeleri hesaplamada kullanılan askeri standarta göre belirgin avantajları bulunmaktadır. Örneğin, askeri şartnamelerde kullanılan ve titreşim seviyelerini dramatik olarak değiştiren aerodinamik kirli-temiz kavramının hesaplamalı aerodinamik analizler neticesinde belirlenmesi tavsiye edilir. Geliştirilen

yöntem her faydalı yüke özgü olup, içindeki seviyeleri faydalı yük aerodinamiğine göre belirler. Ayrıca askeri şartnamede frekans gibi bazı titreşim seviyesi parametreleri kullanımı için genel ifadeler bulunmaktadır. Bu genellemeler seviyelerin yüksek olmasına sebebiyet vermektedir.

Geliştiren yöntem sayesinde, faydalı yüklerin maruz kaldığı titreşim seviyelerinin askeri standartta yüksek olarak hesaplandığı görülmüştür. Geliştirilen yöntem kullanılarak hesaplanan titreşim seviyeleri havacılık yapılarının kavramsal tasarım aşamasındaki yapısal hesaplamalarda ve yer testlerinde kullanılabilir. Bu yöntem sonucu hesaplanan titreşim seviyesinin kullanımı sonucu yapısal parçalarda hafifleme ve tasarım süreçlerinde kısalma olabilecektir. Bununla beraber gerçekçi seviyelerde titreşim testlerinin yapılması neticesinde, kompleks sistemlerde kırılma veya bozulma gibi başarısızlıkların azalması beklenmektedir. Buna bağlı olarak maliyetlerde azalma olabilecektir.

Askeri şartname tarafından yüksek hesaplanan titreşim seviyesinin havacılık yapı tasarımlarına etkisini göstermek için ayrıca bir vaka örneği çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada askeri şartname ve geliştirilen yöntem sonucu tahmin edilen titreşim değerleri, statik yüke dönüştürülmüş ve bir yapısal parçanın eniyilemesinde kullanılmıştır. Bu vaka örneği çalışması geliştirilen yöntemin önemini ortaya koymuştur.

1.5. Tezin Organizasyonu

Bu tez çalışmasının organizasyonu şu şekildedir: Bölüm 2’de rastgele titreşimler, tolerans limitleri, yapay sinir ağları, yapısal eniyileme ve askeri şartname ile ilgili teorik bilgiler anlatılmıştır. Bölüm 3’te bu tez çalışmasında kullanılan veri toplama sistemi bilgileri, faydalı yükte kullanılan duyurga bilgileri ve test havuzu sunulmuştur. Bölüm 4’te test sonuçları verilmiştir. Bölüm 5’te test sonuçları ile elde edilen yüklenme durumunun bir yapısal parça üzerine etkisi ile ilgili yapısal analiz ve eniyileme çalışmaları bulunmaktadır. Bölüm 6’da bu tez çalışmasının sonuçları özetlenmiş ve gelecekte ele alınabilecek konular aktarılmıştır.



2. TEORİK TEMELLER

2.1. Rastgele Titreşim

Belirli bir zaman dilimi (T) boyunca oluşan otokorelasyon ($R_{xx}(T)$, İng. Autocorrelation) fonksiyonu beklenen değer ($E_x(x)$, İng. Expected Value) cinsinden Eşitlik (2.1) kullanılarak hesaplanır [47].

$$R_{xx}(T) = E_x[x(t)x(t+T)] \quad (2.1)$$

Durağan rastgele bir sürecin güç spektrum yoğunluğu ($P_{xx}(f)$, İng. Power spectral density) otokorelasyon fonksiyonu cinsinden ayrık-zaman Fourier serisi açılımı olarak Eşitlik (2.2) şeklinde ifade edilebilir. Burada f_s örnekleme frekansıdır (Hz).

$$P_{xx}(f) = \frac{1}{f_s} \sum_{T=-\infty}^{\infty} R_{xx}(T) e^{\frac{-j2\pi T f}{f_s}} \quad (2.2)$$

Belirli bir frekans bandındaki (f_1 - f_2) verinin ortalama güç spektrum yoğunluğu, İGSY-frekans eğrisinin integrali alınarak Eşitlik (2.3)'teki gibi hesaplanabilir.

$$P_{[f_1, f_2]} = \int_{f_1}^{f_2} P_{xx}(f) df \quad (2.3)$$

2.2. Rastgele Titreşim Yüklerinin Statik Olarak Kullanılması

Rastgele titreşim yükleri havacılık yapılarının yapısal tasarımlarında kullanılabilir. Miles eşitliği, Titreşim spektrum yaklaşımı, İGSY yaklaşımı gibi eşitlikler frekans tabanındaki yükü statik yüke çevirebilir.

2.2.1. Miles Eşitliği

Bu yöntemde tek serbestlik dereceli sistemin baskın frekansı göz önünde bulundurmakta olup (2.4) ve (2.5) no'lu eşitlikler kullanılır. Burada Q yükseltme faktörü olup sönüm oranına bağlıdır. M değeri ise İGSY-frekans eğrisinin eğimini ifade eder. f_i sistemin baskın doğal frekansı, f_l ise eğimin başladığı frekans değeridir. Eşdeğer statik yük σ_{Tepe} olarak ifade edilir.

$$\sigma_{Tepe} = 3 \sqrt{\frac{\pi}{2} Q f_i (\dot{IGSY}_{f_i})} \quad (2.4)$$

$$\dot{IGSY}_{f_i} = \dot{IGSY}_{f_1} (f_i/f_1)^{0.3322 M} \quad (2.5)$$

2.2.2. Titreşim Şartnamesi ile Hesaplama

Bu yöntemde eşdeğer statik yük, Eşitlik (2.6) ile ifade edildiği üzere, şartnamelerde verilen ortalama karekök (Grms) değerinin 3 katı olarak alınır. Burada not edilmelidir ki, bazı şartnamelerde İGSY yerine rms verilmektedir.

$$\sigma_{Tepe} = 3 (Grms) \quad (2.6)$$

2.2.3. Tüm Bant Genişliğinde İGSY İntegrali

Eşitlik (2.7)'de verildiği üzere İGSY eğrisinin 20-2000 Hz frekans bandında integralinin karekök değerinin üç katı statik yük gibi ele alınır.

$$\sigma_{Tepe} = 3 \sqrt{\int_{20}^{2000} PSD df} \quad (2.7)$$

2.2.4. Sınırlı Bant Genişliğinde İGSY İntegrali

Bu yaklaşım Eşitlik (2.8)'e göre daha sınırlı bir frekans bandının statik yük hesaplamalarında kullanılmasına dayanır. Buna göre 300 Hz'den yüksek frekanslı ivme girdileri olsa bile, gerinim değerlerinin 300 Hz'den sonra etkilenmediği deneysel olarak görülmüştür. Böylece, statik yük hesaplamalarında gerinimi etkileyecek frekans bandı olarak 20-300 Hz kullanılması değerlendirilmiştir [48].

$$\sigma_{Tepe} = 3 \sqrt{\int_{20}^{300} PSD df} \quad (2.8)$$

2.3. Tolerans Limitleri

Tolerans limiti genellikle çevresel belirsizlikleri gidermek amacıyla kullanılmaktadır. Üst tolerans limiti belirli sayıda veri bulunan bir havuzda, verilere ekstra bir pay ekleyerek ölçümsel farklılıkları örtmeye ve ölçüm alınmayan noktalardaki kayıpları korunumlu hale getirmek için kullanılır. Korunumun seviyesini kapsama (Beta, *İng. Coverage*) ve güvence seviyesi (Gama, *İng. Confidence*) belirler [49].

2.3.1. Normal Tolerans Limiti

Normal tolerans limiti (NTL) ölçüm sayısı, kapsama oranı ve güvence seviyesine göre ölçüm yapılan ivme verilerine ekstra bir faktör eklemek için kullanılmıştır. NTL yalnızca normal dağılıma sahip değişkenler için kullanılabilir. Yapısal cevapların istatistiksel dağılımı genellikle normal dağılıma sahip değildir. Bununla beraber yapısal cevapların logaritmik dönüşümü normal dağılım özelliği gösterir [50]. Yapısal cevapların (x) Eşitlik (2.9)'daki gibi logaritmik dönüşümleri alınır.

$$y = \log_{10} x \quad (2.9)$$

Verilerin ortalaması ve standart sapması hesaplanır. Burada y_{ort} , y değerlerinin ortalaması s_y ise y değerlerinin standart sapması olup Eşitlik (2.10) ve (2.11)'de hesaplanmıştır.

$$y_{ort} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (2.10)$$

$$s_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - y_{ort})^2} \quad (2.11)$$

NTL değerleri hesaplanır. Burada k_f normal tolerans faktörünü ifade eder [51]. Ters logaritmanın alınması ile yapısal cevapların NTL ilave edilmiş seviyeleri Eşitlik (2.12)'de verildiği gibi hesaplanır.

$$NTL_y(n, \beta, \gamma) = y_{ort} + k_{f_{n,\beta,\gamma}} s_y \quad (2.12)$$

$$NTL_x(n, \beta, \gamma) = 10^{NTL_y(n,\beta,\gamma)} \quad (2.13)$$

2.3.2. Dağılımdan Bağımsız Tolerans Limiti

Dağılımdan bağımsız tolerans limiti (DTL) kullanımında verilerin dağılımının logaritmik dönüşümünün normal olması kabulüne gerek yoktur. Bu kabul tolerans limitini en yüksek spektral değere sabitleyerek giderilir [52].

DTL hesaplamaları NTL ile benzerdir. Güvence seviyesi kapsama değeri ile ölçüm alınan noktaya bağlıdır. İlgili denklem Eşitlik (2.14) ile gösterildiği şekildedir:

$$DTL_x(n, \beta, \gamma) = x_{h_j}, \gamma = 1 - \beta^n \quad (2.14)$$

2.3.3. Normal Kestirim Limiti

Normal kestirim limiti (NKL), diğer limitler gibi yapısal cevapların korunumlu olarak elde edilmesinde kullanılmaktadır [53]. NKL’de NTL gibi yapısal cevapların normal dağılım özelliği göstermesi için logaritmik dönüşüm kullanılır.

$$y = \log_{10} x \quad (2.15)$$

NKL hesaplamasında öğrenci yüzde noktası T dağılımı kullanılır [54]. NKL_y değeri Eşitlik (2.16) kullanılarak hesaplanır:

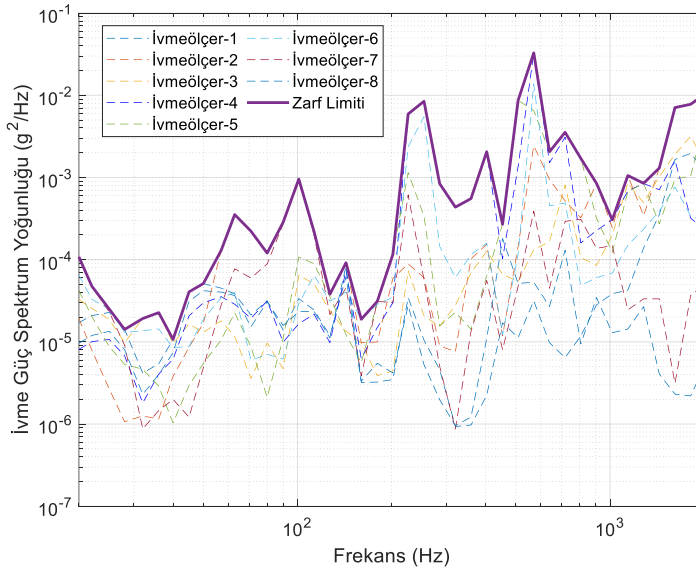
$$NKL_y(n, \gamma) = \bar{y} + \sqrt{1 + \frac{1}{n}} t_{(n-1); \alpha} S_y \quad (2.16)$$

NKL ters logaritmik dönüşüm kullanılarak Eşitlik (2.17)’deki gibi yeniden hesaplanır.

$$NKL_x(n, \gamma) = 10^{NPL_y(n, \gamma)} \quad (2.17)$$

2.3.4. Zarf Limiti

Bir bölge içinde yer alan yapısal cevaplar kullanılarak korunumlu bir spektrum elde etmenin en basit yolu zarf limiti (ZL) hesaplaması yapmaktır. Frekans bandında yer alan cevaplar birleştirilir ve bu cevapların en üstünde yer alan bir kompozit spektrum oluşturulur [55]. Bir zarf limiti örneği Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1 : Zarf limiti grafiği örneği.

2.3.5. Üçüncü Derece Normal Polinom Dönüşümü

Üçüncü mertebeden normal polinom dönüşümü (*İng. Third order polynomial transform, Normal- TPTN*) dönüşüm uzayındaki örneklerin kümülatif dağılım fonksiyonunun (KDF, *İng. Cumulative distribution function*) hesaplanmasında kullanılır. Dönüşümde probit fonksiyonu ve logaritması kullanılır. Bu dönüşümün sınırlı sayıda veride iyi çalıştığı bilinmektedir [26]. $Z(\{\zeta\}_i, i = 1, 2, \dots, n)$ değerinin birbirinden bağımsız yanıtları küçükten büyüğe doğru sıralandığı zaman, Z 'nin ampirik kümülatif dağılım fonksiyonu olan $F(\zeta_i)$ Eşitlik (2.18)'deki gibi hesaplanabilir:

$$(z_i, F(\zeta_i)) = \left(z_i, \frac{i}{n+1} \right) \quad (2.18)$$

$\Phi(\cdot)$ ve $\Phi^{-1}(\cdot)$ sırayla normal dağılım fonksiyonu ve tersi olarak ifade edilirse, normal polinom metodu Eşitlik (2.19)'daki gibi yazılabilir:

$$\beta_i = \Phi^{-1}(F(\zeta_i)) \quad (2.19)$$

Burada β korunumun seviyesini ifade eder. ζ_i ve β arasındaki ilişkiyi kurmak için ise Eşitlik (2.20)'deki kübik polinom özelliğindeki denklem kullanılır:

$$\zeta = \alpha_0 + \alpha_1 \beta + \alpha_2 (\beta)^2 + \alpha_3 (\beta)^3 \quad (2.20)$$

KDF monotonik bir fonksiyon olduğu için bu fonksiyonun kısıtı en küçük kareler yöntemi ile kurulur. Monotonluk kısıtı kurulurken Eşitlik (2.21)'deki şartların sağlanması gerekmektedir.

$$\alpha_2^2 - 3\alpha_1\alpha_3 < 0, \alpha_3 > 0 \quad (2.21)$$

2.3.6. Üçüncü Derece Logaritmik Polinom Dönüşümü

Üçüncü mertebeden logaritmik polinom dönüşümü (*İng. Third order polynomial transform, Logarithmic- log-TPTN*) TPTN ile benzerlik göstermektedir. Hesaplamalarda Eşitlik (2.18) ve (2.19) kullanılır. TPTN'den farklı olarak ζ_i ile güvence oranının logaritmik değeri arasında bir ilişki kurulur. Eşitlik (2.22)'deki kübik polinom özelliği kullanılabilir:

$$\log(\beta_i) = \Phi^{-1}(F(\zeta_i)) \quad (2.22)$$

Burada ζ_i ölçüm değerleri olup, $F(\zeta_i)$ ampirik dağılım fonksiyonunu ifade eder. Monotonluk kısıtı log-TPTN'de de bulunur. Bu kısıt Eşitlik (2.23) ile sağlanır [56].

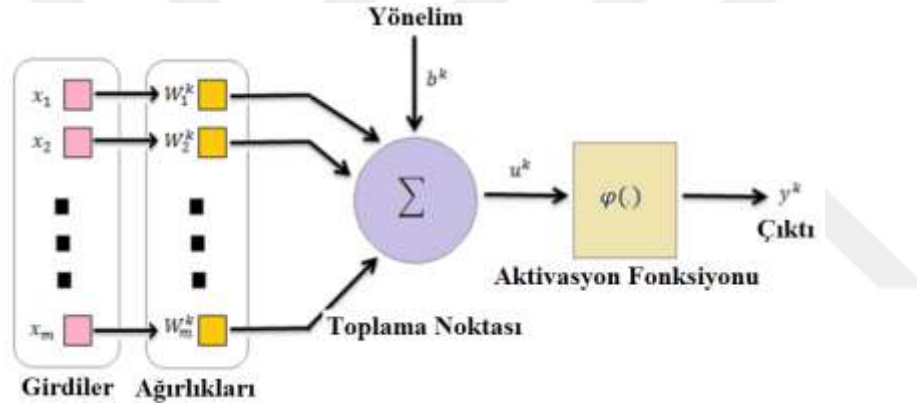
$$\zeta = \alpha_0 + \alpha_1 \log \beta + \alpha_2 (\log \beta)^2 + \alpha_3 (\log \beta)^3 \quad (2.23)$$

2.4. Yapay Sinir Ağları

YSA, örüntü tanılama, deneysel veri analizi, kontrol gibi konulara yenilikçi bir yaklaşım sağlamaktadır. Girdi-çıkı ilişkisi kurarak, doğrusal olmayan problemlere yüksek hesaplama hızları ile kısa sürede çözüm sunmaktadır [57]. YSA diğer ağ türlerine göre tablosal verilerde üstünlük sağlamaktadır [58, 59]. YSA'da kullanılan temel adımlar aşağıda sıralanmıştır [60].

- Eğitim ve test verilerinin hazırlanması.
- YSA için uygun mimarinin seçiminin yapılması.
- YSA eğitiminin yapılması.
- YSA performansının tespitinin yapılması.

Tek nöronlu bir YSA'nın şematik görüntüsü Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2 : Tek nöronlu bir YSA'nı şematik görünümü.

Girdi değeri (x_i) girdi ağırlıkları (w_i) ve toplam noktası YSA'nın üç temel unsurudur. Eşitlik (2.24)'de verildiği üzere girdilerin ağırlıklı toplamı olan u^k , x_i girdi değerleri ve w_i girdi değerlerinin bir fonksiyonudur.

$$u^k = \sum_{i=1}^m w_i^k x_i \quad (2.24)$$

Çıktı değeri olan y^k ise aktivasyon fonksiyonu kullanılarak elde edilir. Burada kullanılan denklem Eşitlik (2.25)'de ifade edilmiştir.

$$y^k = \varphi(u^k + b^k) = \varphi\left(\sum_{i=1}^m w_i^k x_i + b^k\right) = \varphi\left(\sum_{i=0}^m w_i^k x_i\right) \quad (2.25)$$

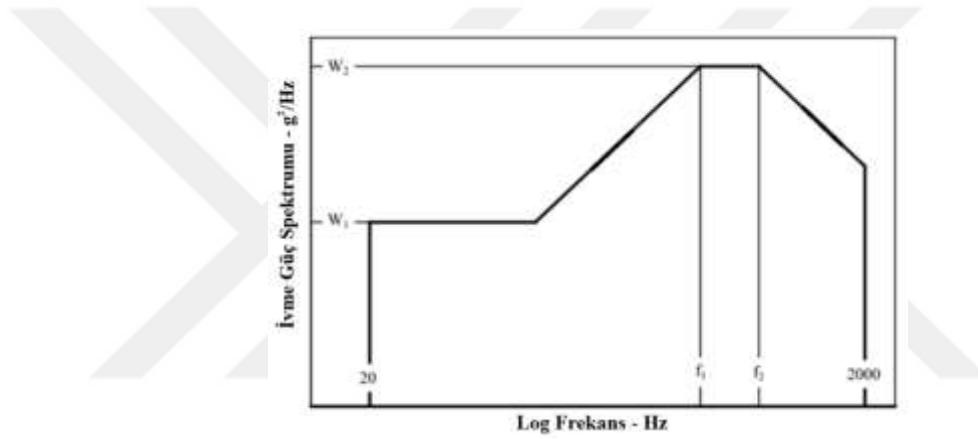
Burada b_k yönelim parametresini ifade eder.

İleri beslemeli geri yayımlı YSA algoritması Levenberg-Marquardt eğitim fonksiyonu ile havacılık uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır [61, 62]. Bu algoritmanın eğitim kolaylığı avantajının yanında, kolay yakınsama özelliği öne

çıkılmaktadır [63, 64]. Bu çalışmada hiperbolik tanjant sigmoid aktivasyon fonksiyonu olarak kullanılmıştır.

2.5. Askeri Şartname

Askeri şartname'de [4] jet uçağı ile taşınan bir faydalı yükün içerisinde bulunan ekipmanların maruz kaldığı titreşim seviyelerini hesaplamak için birtakım eşitlikler bulunmaktadır. Bu şartnamede bahsedilen faydalı yük ekipmanları titreşim seviyesi Şekil 2.3'te verilmiştir. W_1 ve W_2 arasındaki değerde oluşan eğrinin eğimi olarak 3db/oktav ya da 6db/oktav kullanılması tavsiye edilmektedir [28]. Titreşim seviyesi dört parametre ile tanımlanabilir: W_1 , W_2 , f_1 ve f_2 .



Şekil 2.3 : Askeri şartnamede verilen faydalı yük ekipmanı titreşim seviyesi grafiğı [4].

W_1 , W_2 , f_1 ve f_2 parametreleri Eşitlik (2.26) ile Eşitlik (2.31) arasında hesaplanmaktadır. Ma değeri uçuş esnasındaki Mach sayısını ifade edip, Eşitlik (2.28)'te verilen K değerinin hesaplanmasında kullanılır. Eşitlik (2.27) ve Eşitlik (2.29)'da verilen H ve C değerleri sabit olup sırasıyla 559 ve 254 değerlerine sahiptir. Eşitlik (2.27)'de verilen q parametresi Eşitlik (2.31)'de verildiğı üzere ilgili uçuş koşulundaki dinamik basıncı ifade eder. Eşitlik (2.31)'de bulunan V_a ilgili ortamdaki yerel ses hızı olup, ρ_0 ise ortamdaki havanın yoğunluğudur. Faydalı yük yoğunluğu ρ olarak ifade edilip, 641 ile 2403 kg/m³ arasında çıkmaması durumunda uç değerlerin kullanılması tavsiye edilir. Eşitlik (2.29)'da verilen th değeri faydalı yükün ortalama et kalınlığı olup, R değeri ise ortalama faydalı yük yarıçapıdır. f_1 değerinin 100-2000 Hz arasına sınırlandırılması tavsiye edilmektedir. Serbest düşmeli faydalı yüklerde f_1 değerinin 125 Hz alınması gerekmektedir. W_1 ve W_2 'yi oluşturan $A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, C_2, D_1, D_2, E_1$ ve E_2 değerleri açıklamaları ile beraber Çizelge 2.1'de verilmiştir.

$$W_1 = 0.005 \times K \times A_1 \times B_1 \times C_1 \times D_1 \times E_1 \quad (2.26)$$

$$W_2 = H \times (q/\rho)^2 \times K \times A_2 \times B_2 \times C_2 \times D_2 \times E_2 \quad (2.27)$$

$$Ma \leq 0,90 ; K = 1, \quad (2.28a)$$

$$0,90 \leq Ma \leq 1.0; K = -4,8 x Ma + 5,32, \quad (2.28b)$$

$$Ma \geq 1 ; K = 0,52 \quad (2.28c)$$

$$f_1 = 10^5 \times C \times (th / R^2) \quad (2.29)$$

$$f_2 = f_1 + 1000 \quad (2.30)$$

$$q = \left(\frac{1}{2}\right) \times r_{o0} \times V_a^2 \times M^2 \quad (2.31)$$

Çizelge 2.1 : Askeri şartname parametreleri ve değerleri.

Özel adaptör kullanımı, Aerodinamik temiz durum (AT)	A₁	A₂
Tekil faydalı yük	1	1
Özel adaptör kullanımı ile yan yana faydalı yük	1	2
Özel adaptör kullanımı ile arka arkaya faydalı yük	1	4
Ekipmanın faydalı yük üzerinde konumu	B₁	B₂
Motorlu faydalı yükün arka askı kulpu arkası bölge	1	4
Faydalı yükün arka askı kulpu önündeki bölge	1	2
Motoru olmayan faydalı yükün arka askı kulpu arkasındaki bölge	1	1
Özel adaptör kullanımı, Aerodinamik kirli durum (AK)	C₁	C₂
Tekil veya özel adaptör kullanımı ile yan yana faydalı yük	2	4
Özel adaptör kullanımı ile arka arkaya faydalı yük	1	2
Diğer faydalı yük	1	1
Faydalı yük yapısı özellikleri	D₁	D₂
Sac malzeme gibi ince cidarlı kuyruk/kontrol kanatçığına sahip faydalı yük	8	16
Motorlu faydalı yük	1	1
Diğer faydalı yük	4	4
Faydalı yük içinde sıvı olma durumu	E₁	E₂
İçinde jel tipi parçacıklar bulunan faydalı yük	½	1/1
Diğer faydalı yük	1	1

Bu çalışmada kullanılan faydalı yük kütlesi 500 kg, hacmi 0,2 m³ olup, $A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, C_2, E_1, E_2$ değerleri 1, D_1 ve D_2 değerleri sırası ile 8 ve 16 alınmıştır.

2.6. Yapısal Eniyileme

Yapısal topoloji eniyilemesi tasarım parçalarının çalışma koşullarına dayanan geometrik dağılımlarının belirlenmesinde kullanılır. Yoğunluk esaslı yöntem yapısal eniyilemede sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yöntemde tasarım değişkeni ile eniyilemeye konu olan malzeme arasında bir ilişki kurulur. Eşitlik (2.32), (2.33), (2.34) ve (2.35)'te verilen güç kuralı (*Ing. Power rule*) ilişkisi aşağıda ifade edilmiştir:

$$E(X) = E_0 \times RV2 + E_0 \times (1 - RV1) \times X^{RV1} \quad (2.32)$$

$$RV2 = \frac{E_{min}}{E_0} \quad (2.33)$$

$$\rho(X) = \rho_0 \times X \quad (2.34)$$

$$TMIN \leq X \leq 1.0 \quad (2.35)$$

Bu eşitliklerde $E(X)$ elastisite modülünü, E_0 başlangıç elastisite modülünü, $\rho(X)$ yoğunluğu, ρ_0 başlangıç yoğunluğunu ifade eder. X topoloji tasarım değişkeni olarak hacim oranıdır. $TMIN$ ise topoloji tasarım değişkeninin en düşük değeridir. $RV1$, kullanıcı tarafından tanımlanan ve genelde 2.0 ile 3.0 arasında seçilen bir değer olup, E_{min} ise $RV2$ 'nin 0.0 ile 1.0 arasında değişmesini sağlayan ve genelde 10^{-6} alınan elastisite değerinin en küçük değeridir.

Yukarıda verilen eşitlikler elastisite modülü ile yoğunluk arasında sezgisel bir ilişki kurulmasını sağlar. Kuramsal olarak eşitlikler ancak tasarım değişkeninin 0.0 veya 1.0 olması halinde doğru olmaktadır. Tasarım değişkeninin 1.0 olması durumunu, ilgili elemanın gerekli olduğu anlamına gelir. Eğer, tasarım değişkeni 0.0 ise, ilgili eleman gerekli değildir ve modelden dışarıya çıkarılır. Direngenlik matrisinde tekillik durumundan kaçınmak için $TMIN$ ya da $RV2$ değerlerinin tanımlanması gerekmektedir.

Yoğunluk esaslı yapısal eniyileme yönteminde Eşitlik (2.36), (2.37), (2.38) ve (2.39) de kullanılabilir.

$$E(X) = E_0 \times \left\{ RV1 \times [X + RV2(1 - X)] + \frac{(1-RV1) \times RV2}{(RV2-1) \times X + 1} \right\} \quad (2.36)$$

$$\rho(X) = \rho_0 [X + RV3 \times (1 - X)] \quad (2.37)$$

$$RV3 = \frac{\rho_{min}}{\rho_0} \quad (2.38)$$

$$TMIN \leq X \leq 1.0 \quad (2.39)$$

Burada ρ_{min} $RV3$ 'ün 0.0 ile 1.0 arasında değişmesini sağlayan 0 ile 2.0 arasında değişen ve genelde 10^{-6} alınan yoğunluk değerinin en küçük değeridir. Bu denklemler karıştırma kuralı olarak da anılmaktadır. Eğer RVI değeri 0.0 olarak alınırsa elastisite modülü ve yoğunluk aşağıdaki gibi hesaplanır. Bu durum Reuss karıştırma kuralı (İzogerilme, *İng. Isostress*) olarak bilinmektedir.

$$E(X) = E_0 \times \frac{RV2}{(RV2-1) \times X + 1} \quad (2.40)$$

$$\rho(X) = \rho_0 [X + RV3 \times (1 - X)] \quad (2.41)$$

RVI değeri 0.0 olarak alındığında ise elastisite modülü ve yoğunluk aşağıdaki gibi hesaplanır. Bu durum Voigt karıştırma kuralı (İzogerinim, *İng. Isostrain*) olarak bilinmektedir.

$$E(X) = E_0 \times [X + RV2 \times (1 - X)] \quad (2.42)$$

$$\rho(X) = \rho_0 [X + RV3 \times (1 - X)] \quad (2.43)$$

Eniyileme probleminin çözümünde yaklaşık çözüm yöntemi kullanılabilir. Yaklaşık çözüm tasarım değişkeninin aralığını kısıtlamayı sağlar. Bu kısıtlar her tasarım döngüsüne özel olarak geçici sınırlar oluştururlar. Eniyelemenin sonunda kısıtlar sonucu etkilemeyecek şekilde ortadan kaldırılır. Geçici sınırlar üst ve alt sınırlar olarak her tasarım döngüsü için Eşitlik (2.44) ve (2.45)'de verildiği gibi ifade edilir:

$$LB_i = \text{Max}(TMIN, X_i - \text{Max}(DEL T \times X_i, DTMIN)) \quad (2.44)$$

$$UB_i = \text{Min}(1, X_i + \text{Max}(DEL T \times X_i, DTMIN)) \quad (2.45)$$

Burada $DEL T$ oransal kısıt, $DTMIN$ ise en küçük kısıt olup, genellikle sırasıyla 1.0^{-6} ve 0.2 değerlerindedir [65]. Bu tez çalışmasında, topoloji eniyilemesi için VRAND GENESIS yazılımı kullanılmıştır.

3. VERİ TOPLAMA, DUYARGA VE TEST HAVUZU BİLGİLERİ

3.1. Veri Toplama Bilgileri

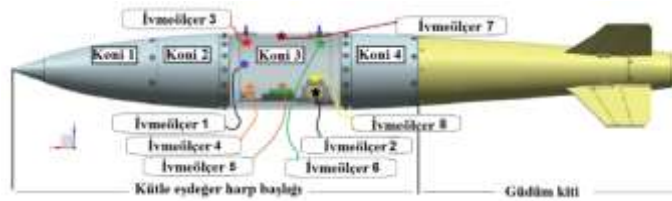
Faydalı yükün askı kulpları arasındaki bölgeye sekiz adet ivmeölçer konulmuştur. Ölçümlendirme yapılan faydalı yük resmi ve veri toplama sistemi Resim 3.1’de verilmiştir. Veri toplama frekansı 10000 Hz olarak belirlenmiştir.



Resim 3.1 : Ölçümlendirilen faydalı yükü gösteren resim.

3.2. Duyarga Bilgileri

İvmeölçer şematik konumları Şekil 3.1’de verilmiştir. İvmeölçer 1 Koni-3’ün yan duvarına, İvmeölçer 2 ve 8 telemetri bağlantı parçasının üzerine, İvmeölçer-3 ve 6 askı kulpu braket parçalarının altına, İvmeölçer 4 ve 5 telemetri alıcısı ve bataryası tutucu parçalarının üzerine, İvmeölçer 7 ise Koni-3’ün üst yüzeyine yerleştirilmiştir. İvmeölçer özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 : İvmeölçer şematik konumları görseli.

Çizelge 3.1 : İvmeölçer özellikleri [66].

No	Özellik	Değeri
1	Tam ölçüm aralığı	$\pm 250g$
2	Duyarlılık	20mV/g
3	Çözünürlük	0,003 g rms
4	Doğal frekansı	38000 Hz

3.3. Tolerans Limitleri Parametreleri

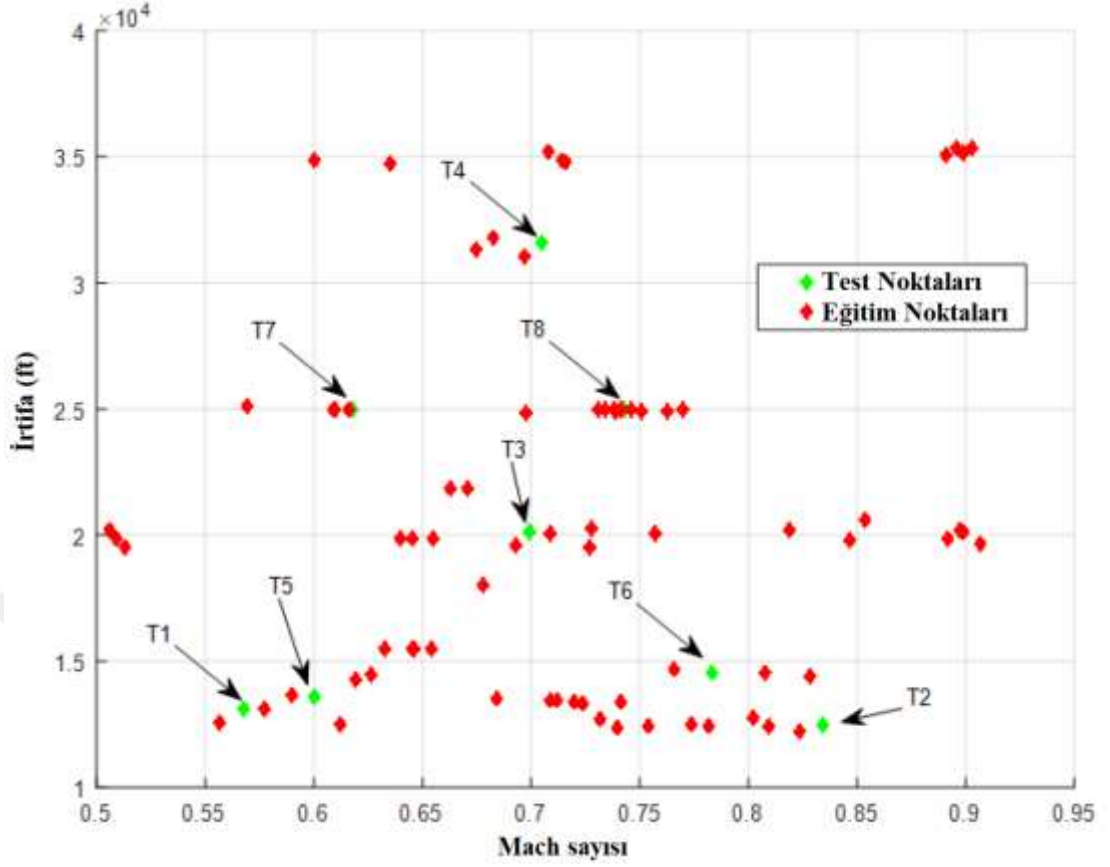
Tolerans limitleri hesaplamalarında kullanılan parametreler ve değerleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2 : Tolerans limitlerinde kullanılan parametreler ve değerleri [67].

Yöntem	Parametre	Değeri
NTL	Beta	0.95
NTL	Gama	0.5
NKL	T öğrenci gama	0.05
DTL	Beta	0.917
TPTN	Beta	0.95
Log-TPTN	Beta	0.95

3.4. YSA’da Kullanılan Eğitim ve Test Havuzu

YSA’larda kullanılan eğitim ve test noktalarından oluşan veri havuzu uçuş irtifası ve Mach sayısı cinsinden Şekil 3.2’de verilmiştir. Yetmiş beş eğitim noktası, sekiz test noktası bulunmaktadır. Test koşulları rastgele seçilmiştir. Test noktaları Ek 1’de verilmiştir. Veriler iki yıl boyunca eğitim uçuşlarında toplanan gerçek uçuş verileridir. Sekiz test noktasında da deneysel veriler bulunmakta olup, YSA performansı bu noktalarda sınanmıştır.

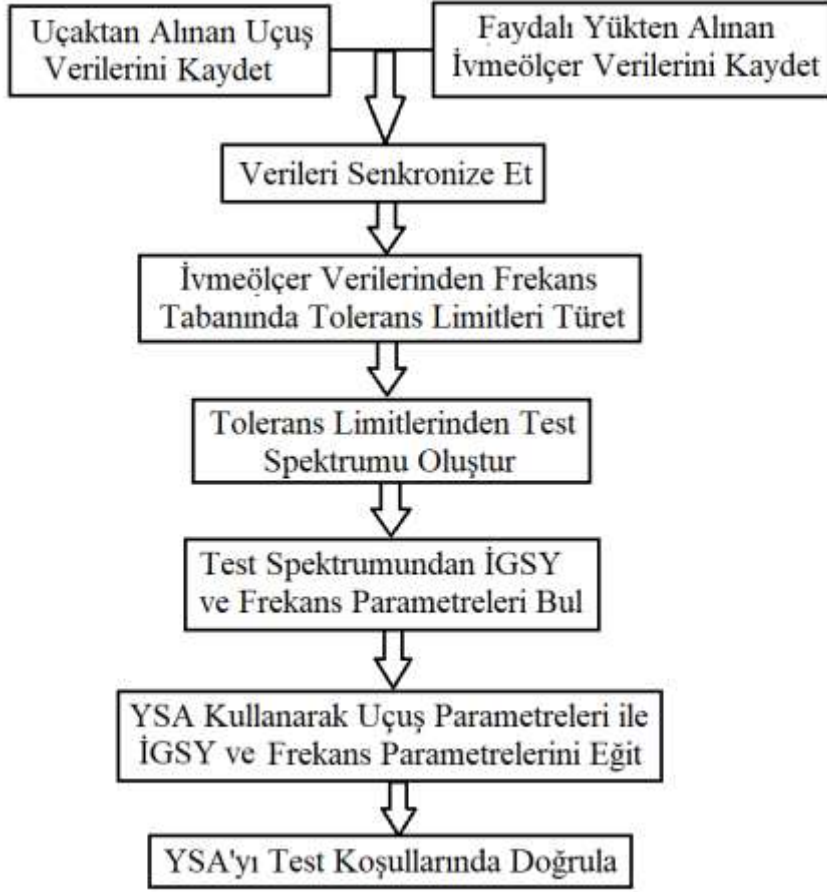


Şekil 3.2 : İrtifa ve Mach sayısı cinsinden veri havuzu.

İGSY ve tolerans limiti değerleri ivme verileri kullanılarak 1s süreler için oluşturulmuştur. Frekans değerleri için 2-1/6 oktav bandı kullanılmıştır [55]. Veri işlemede MATLAB kullanılmıştır [68].

3.5. İşlem Akış Şeması

Hesaplamalarda kullanılan işlem akış şeması Şekil 3.3'te verilmiştir.



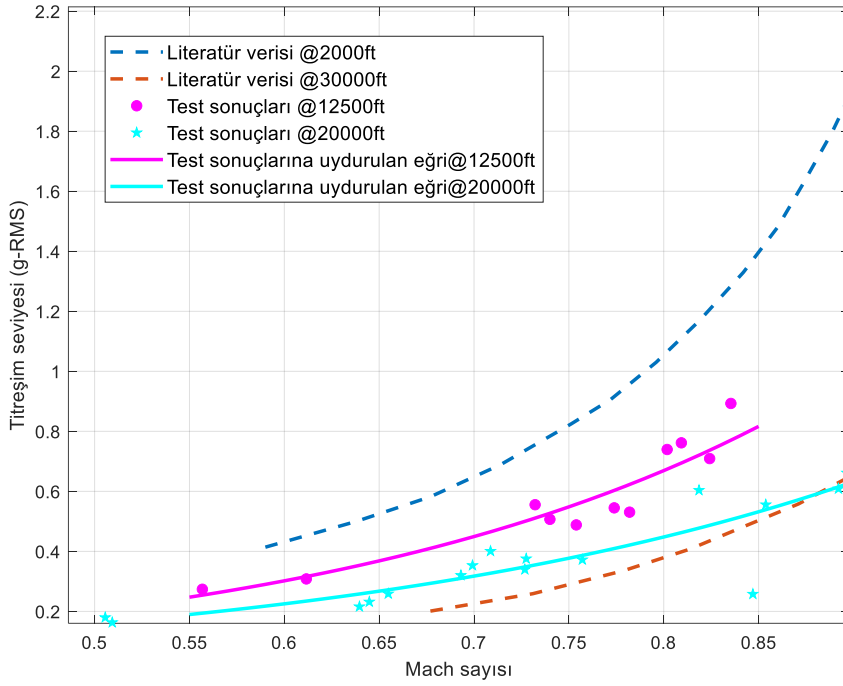
Şekil 3.3 : İşlem akış şeması.

4. TEST SONUÇLARI

İlk olarak test verilerinin literatür ile uyumluluğu kanıtlanmıştır. Ardından veri havuzu Mach sayısı ve uçuş irtifası şeklinde verilmiştir. Son olarak YSA performansı anlatılmıştır.

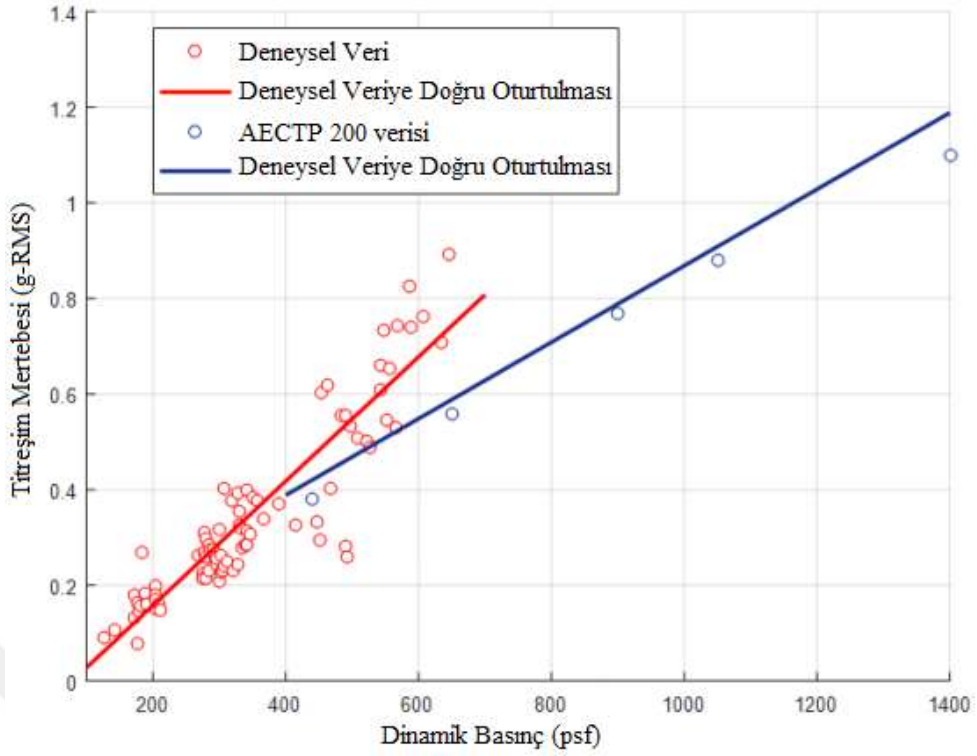
4.1. Verilerin Doğrulanması

Havacılık yapılarında meydana gelen titreşimlerin uçuş esnasında dinamik basınç ile doğru orantılı olarak arttığı bilinmektedir [69-73]. Deneysel olarak yapılan bir çalışmada uçağa bağlanan faydalı yük için İGSY-frekans grafiğinin integrali alınmış, ivme seviyesinin toplam karekök ortalaması (G-rms) olarak Mach sayısı ve uçuş irtifası cinsinden çıkarılmıştır [74]. Bu grafiğin üzerine, test sonuçlarının İGSY-frekans grafiklerinin Grms değerleri eklenmiş ve Şekil 4.1’de verilmiştir. Sonuçlara dikkat edildiğinde literatür verisinin 2000-30000ft arasında toplandığı, test sonuçlarının literatür verisinin arasında kaldığı görülmektedir. Bu doğal bir sonuç olup, test verilerinin dinamik basınç değerlerinin bu aralıkta kaldığı söylenebilir. Bununla beraber aynı irtifada mach sayısının artması ile artan Grms değerleri de literatür ile uyumludur.



Şekil 4.1 : Uçağı bağı faydalı yük için literatürde bulunan titreşim seviyesinin test sonuçları ile karşılaştırılması [74].

Bir diğer çalışmada dinamik basınç değeri ile titreşim şiddeti olarak g-rms değeri karşılaştırılmıştır [75]. Bu değerlere çalışmadaki verilerin eklenmesi sağlanmış grafik Şekil 4.2'de yeniden çizilmiştir. Deneysel verilerde ve literatür verilerde dinamik basıncın artan değerlerine karşı titreşim seviyesinin arttığı görülmektedir. Bununla beraber deneysel verilerin dinamik basınç olarak, literatür verisine göre düşük değerlerde yapıldığı anlaşılmaktadır. Verilerin kıyas edilebildiği 400-650 psf dinamik basınçta literatür dinamik basınç değerlerine karşılık deneysel verilerin titreşim seviyesi olarak bir miktar yüksek çıktığı görülmektedir. Bunun nedeni faydalı yükün taşındığı uçağın ve uçakta taşındığı istasyonu farklı olması gösterilebilir.



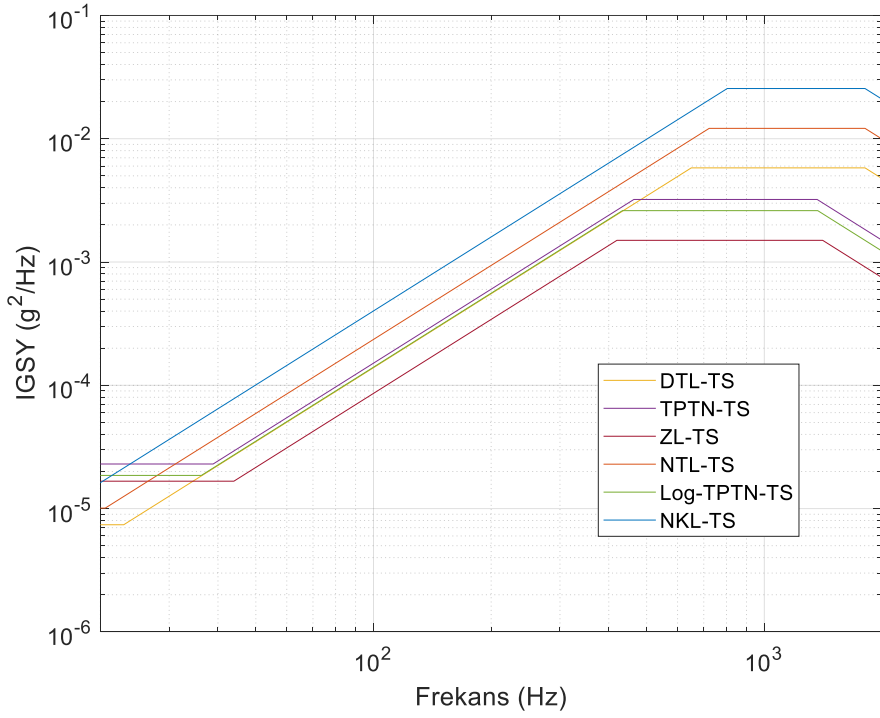
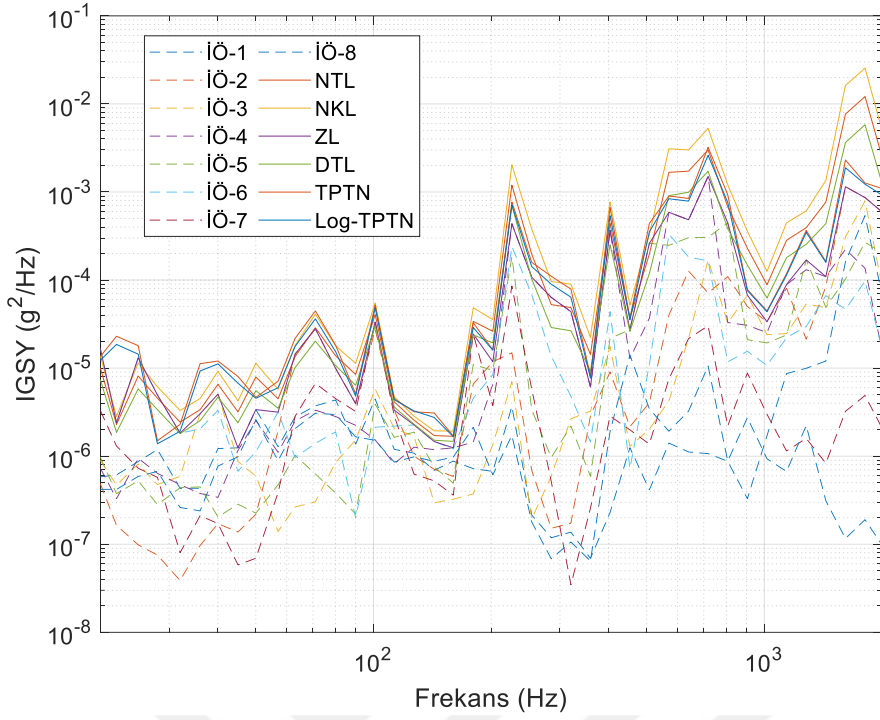
Şekil 4.2 : Uçağı bağlı faydalı yük için literatürde bulunan titreşim seviyesinin test sonuçları ile karşılaştırılması [75].

4.2. Tolerans Limitleri Sonuçları ve Test Spektrumları

Bu bölümde eğitim noktalarındaki tekil ivmeölçer İGSY grafikleri, tolerans limiti İGSY grafikleri ve tolerans limitlerine göre çıkarılan test spektrumlarının İGSY grafikleri verilmiştir.

4.2.1. Eğitim Noktaları Sonuçları

Durum 1 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiğı Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3 : Durum 1 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 1 için tolerans limitlerinde oluşan parametre değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Durum 1 için parametre sabitlerinin değerleri

Tolerans Limiti	$W_1 (g^2/Hz)$	$W_2 (g^2/Hz)$	$f_1 (Hz)$	$f_2 (Hz)$
NTL	1.01E-05	0.0121	723	1810
DTL	7.40E-06	0.0058	650	1810
NKL	1.38E-05	0.0255	804	1810
ZL	1.67E-05	0.0015	420	1410
TPTN	1.86E-05	0.00261	434	1370
Log-TPTN	2.30E-05	0.00322	464	1365

Diğer durumlara ait ivmeölçer, tolerans limiti İGSY ve test spektrumları Ek 2’de verilmiştir.

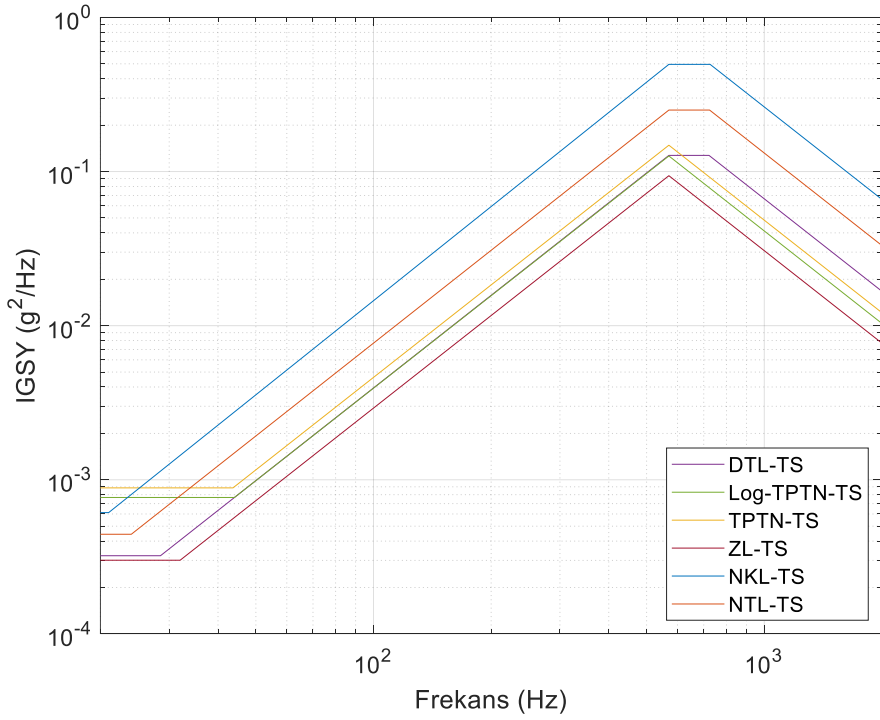
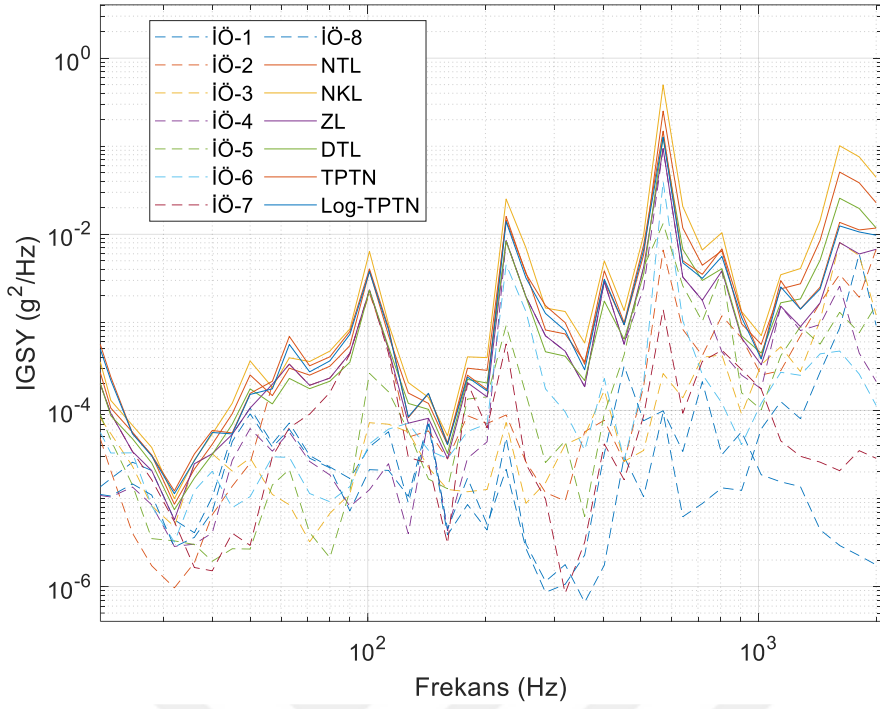
Eğitim verilerinin tekil ivmeölçer spektrumlarına dikkat edildiğinde, tolerans limitlerinin altında kaldıkları görülmektedir. Tekil ivmeölçerlerden birkaçının belirli bir frekans cevabının diğer ivmeölçerlere göre aşırı yüksek kaldığı durumlarda tolerans limitleri spektrumları, yüksek genlik üreten tekil ivmeölçer spektrumunun altında kalabilir. Bu durum Şekil Ek. 8’de görülebilir. Burada 22 Hz civarında ivmeölçer 7’nin DTL’nin bir miktar üstünde kaldığı görülmektedir. Bu tolerans limitlerinin tipik bir sonucudur. Tolerans limitleri, verilerin birbirlerinden çok farklı olduğu durumlarda genel trendi takip etmektedir.

Test spektrumlarına dikkat edildiğinde en yüksek seviyede kalan limitin NKL olduğu görülmektedir. Genel olarak NKL’yi sırası ile NTL, TPTN, Log-TPTN, DTL ve ZL takip etmektedir.

NTL, DTL, NKL, ZL, TPTN ve Log-TPTN test spektrumlarının tanımlanmasında kullanılan parametre sabitlerinin değerleri Ek 3’te verilmiştir.

4.2.2. Test Noktaları Sonuçları

Test noktası 2 için deneysel ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil 4.4’te verilmiştir.



Şekil 4.4 : Test noktası 2’de ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Diğer test noktaları sonuçları Ek 4’te verilmiştir.

Test noktası 2 için tolerans limitlerinde oluşan parametre değerleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Test noktası 2 için deneysel parametre sabitlerinin değerleri

Tolerans Limiti	$W_1 (g^2/Hz)$	$W_2 (g^2/Hz)$	$f_1 (Hz)$	$f_2 (Hz)$
NTL	4.43E-04	0.2506	570	725
DTL	3.22E-04	0.1273	570	722
NKL	6.12E-04	0.4961	570	727
ZL	3.01E-04	0.094	570	571
TPTN	8.86E-04	0.1482	570	571
Log-TPTN	7.68E-04	0.1262	570	571

Diğer test noktalarının sonuçları Ek 5’te verilmiştir.

4.3.YSA Tahminleri

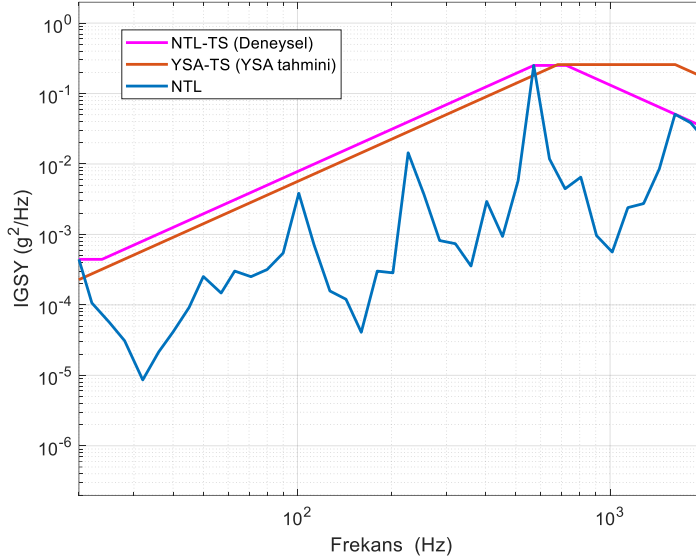
YSA için kullanılan fonksiyonlar, katman sayısı, nöron sayısı, ağ türü gibi özellikler Çizelge 4.3’te verilmiştir. Girdi olarak Mach sayısı ve uçuş irtifası kullanılmıştır. Çıktı olarak ise ilgili uçuş koşulunda test spektrumlarını tanımlayan W_1 , W_2 , f_1 ve f_2 parametreleri kullanılmıştır. Girdiler ve çıktılar normalize edilmiştir. Bununla beraber W_1 ve W_2 gibi küçük sayıların tahmininde logaritma değerleri kullanılmıştır. İşlemin sonunda ise ters logaritmalar alınmıştır. YSA tahminleri her bir mimari denemesi için yaklaşık 3 dk sürmektedir. Bilgisayar özellikler Ek 10’da verilmiştir.

Çizelge 4.3 : YSA hesaplamalarında kullanılan parametreler ve değerleri.

Özellik	NTL	DTL	NKL	ZL	TPTN	Log-TPTN
Ağ türü	FFB	FFB	FFB	FFB	FFB	FFB
Ağ özelliği	5-5-5-5	5-4-5-1	4-5-4-2	5-4-5-1	4-5-5-1	5-6-4-2
Eğitim fonksiyonu	LM	LM	LM	LM	LM	LM
Uyumsal öğrenme fonksiyonu	GDM	GDM	GDM	GDM	GDM	GDM
Performans fonksiyonu	MSE	MSE	MSE	MSE	MSE	MSE
Transfer fonksiyonu	Tansig	Tansig	Tansig	Tansig	Tansig	Tansig

4.3.1. Normal Tolerans Limiti Tahmini

Test noktası 2 için NTL spektrumu, NTL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5 : Test noktası 2 için YSA tahmini ve NTL test sonucu.

Diğer test noktalarının grafikleri Ek 6'da verilmiştir.

NTL için test noktası 2'de YSA tahmini değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

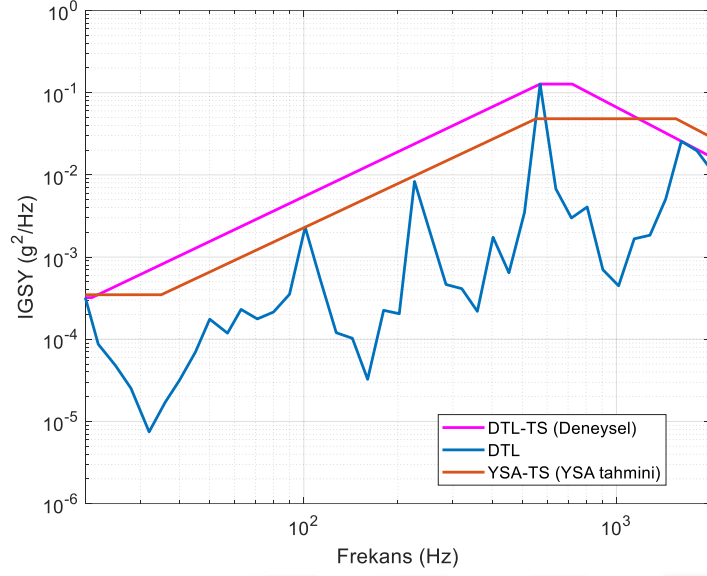
Çizelge 4.4 : Test noktalarında YSA tahmini NTL değerleri.

Durum	$W_1 (g^2/Hz)$	$W_2 (g^2/Hz)$	$f_1 (Hz)$	$f_2 (Hz)$
2	1.98E-04	0.1848	680	1616

Diğer test noktalarının sonuçları Ek 7'de verilmiştir.

4.3.2. Dağılımdan Bağımsız Tolerans Limiti Tahmini

Test noktası 2 için tekil ivmeölçer spektrumları, DTL spektrumu, DTL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil 4.6'da verilmiştir.



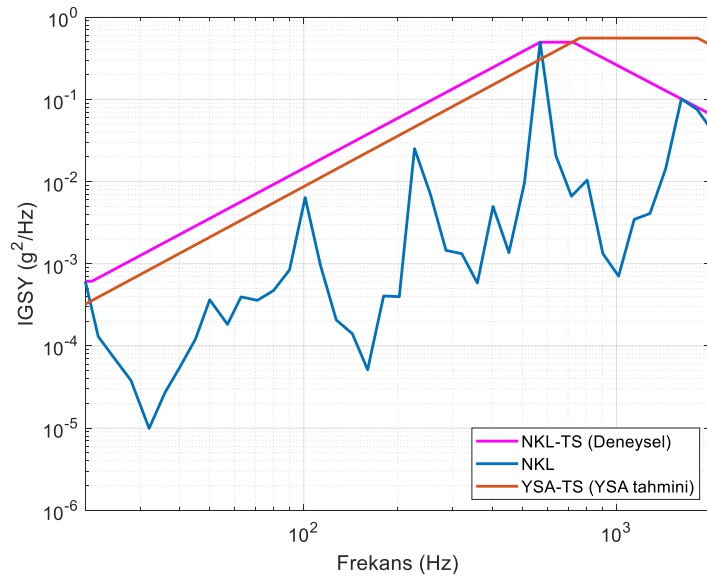
Şekil 4.6 : Test noktası 2 için YSA tahmini ve DTL test sonucu.
DTL için test noktası 2’de YSA tahmini değerleri Çizelge 4.5’te verilmiştir.

Çizelge 4.5 : Test noktalarında YSA tahmini DTL değerleri.

Durum	$W_1 (g^2/Hz)$	$W_2 (g^2/Hz)$	$f_1 (Hz)$	$f_2 (Hz)$
2	3.48E-04	0.0482	553	1551

4.3.3. Normal Kestirim Limiti Tahmini

Test noktası 2 için NKL spektrumu, NKL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7 : Test noktası 2 için YSA tahmini ve NKL test sonucu.

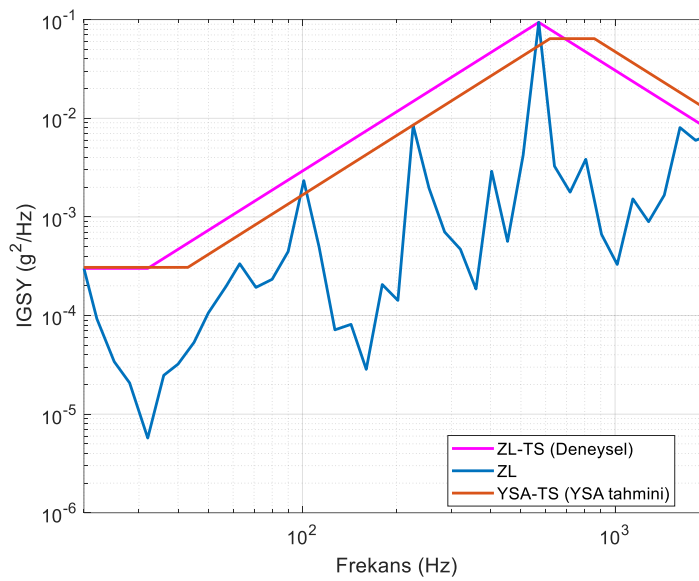
NKL için test noktası 2’de YSA tahmini değerleri Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6 : Test noktalarında YSA tahmini NKL değerleri.

Durum	$W_1(g^2/Hz)$	$W_2(g^2/Hz)$	$f_1(Hz)$	$f_2(Hz)$
2	1.23E-04	0.5571	721	1819

4.3.4. Zarf Limiti Tahmini

Test noktası 2 için, ZL spektrumu, ZL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8 : Test noktası 2 için YSA tahmini ve ZL test sonucu.

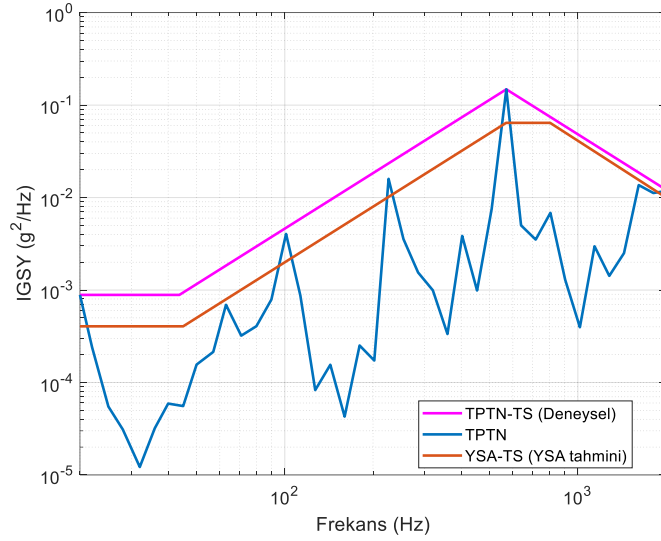
ZL için test noktası 2’de YSA tahmini değerleri Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7 : Test noktalarında YSA tahmini ZL değerleri.

Durum	$W_1(g^2/Hz)$	$W_2(g^2/Hz)$	$f_1(Hz)$	$f_2(Hz)$
2	3.08E-04	0.0642	619	859

4.3.5. Üçüncü Derece Normal Polinom Dönüşümü Tahmini

Test noktası 2 için TPTN spektrumu, TPTN test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.9 : Test noktası 2 için YSA tahmini ve TPTN test sonucu.

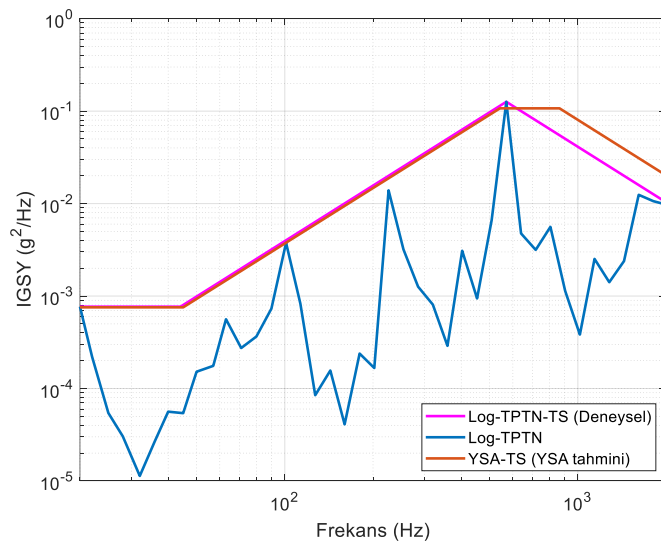
TPTN için test noktası 2'de YSA tahmini değerleri Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8 : Test noktalarında YSA tahmini TPTN değerleri.

Durum	$W_1 (g^2/Hz)$	$W_2 (g^2/Hz)$	$f_1 (Hz)$	$f_2 (Hz)$
2	4.05E-04	0.0643	569	804

4.3.6. Üçüncü Derece Logaritmik Polinom Dönüşümü Tahmini

Test noktası 2 için Log-TPTN spektrumu, Log-TPTN test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10 : Test noktası 2 için YSA tahmini ve Log-TPTN test sonucu.

Log-TPTN için test noktası 2'de YSA tahmini değerleri Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9 : Test noktalarında YSA tahmini Log-TPTN değerleri.

Durum	W_1 (g ² /Hz)	W_2 (g ² /Hz)	f_1 (Hz)	f_2 (Hz)
2	7.55E-04	0.1072	542	866

4.4. Sonuçların Özeti ve Karşılaştırması

NTL için sekiz test durumda W_1 , W_2 , f_1 ve f_2 için yapılan YSA tahmini sonuçları Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11’de verilmiştir. Çizelge 4.10’a dikkat edildiğinde, YSA’nın W_1 tahmini için 2 numaralı uçuşta %55.4, 3 numaralı uçuşta %37.1 hata bulunduğu göze çarpmaktadır. W_2 tahmininde ise en yüksek hata miktarları, 2, 4 ve 6 numaralı uçuşta sırası ile %26.2, %26.7 ve %36.3 çıkmıştır. Çizelge 4.11’de verilen frekans değerleri tahmininde ise 3 numaralı uçuş durumunda f_1 ve 2 numaralı uçuşta ise f_2 tahmininin hata oranlarının sırası ile %40.8 ve %122.9 çıktığı görülmektedir. Bu noktalarda hata oranlarının yüksek çıkmasının nedeni olarak ilgili uçuş durumunda ilgili parçanın frekans cevabının farklı olması gösterilebilir. Nitekim diğer test noktalarında genlik (W_1 , W_2) ve frekans (f_1 , f_2) değerlerinin tahmininde hata oranlarının düşük olduğu görülmektedir. YSA’nın NTL kullanılarak tahmin edilmesinde tüm uçuş noktalarında ortalama hata değerleri W_1 , W_2 , f_1 ve f_2 için sırasıyla %17.9, %15, %14.5 ve %25.3 olurken hataların standart sapmaları ise %19.7, %13, %13.6 ve %39.9 olmuştur.

Çizelge 4.10 : NTL için test koşullarında YSA performansı (W_1 , W_2).

No	Test Sonucu		YSA Tahmini		Yüzde Hata	
	W_1 (g ² /Hz)	W_2 (g ² /Hz)	W_1 (g ² /Hz)	W_2 (g ² /Hz)	W_1 (g ² /Hz)	W_2 (g ² /Hz)
1	3.52E-05	0.0279	3.71E-05	0.0269	5.4	3.5
2	4.43E-04	0.2506	1.98E-04	0.1848	55.4	26.2
3	2.74E-05	0.0499	3.75E-05	0.0497	37.1	0.5
4	6.10E-05	0.0214	4.76E-05	0.0157	22.1	26.7
5	4.22E-05	0.0459	4.98E-05	0.0512	18	11.6
6	1.48E-04	0.0748	1.45E-04	0.1019	2	36.3
7	1.83E-05	0.0045	1.82E-05	0.0049	0.8	8.4
8	5.12E-05	0.0116	4.98E-05	0.0108	2.7	7.1
Ortalama Hata					17.9	15
Hatanın Standart Sapması					19.7	13

Çizelge 4.11 : NTL için test koşullarında YSA performansı(f_1, f_2).

No	Test Sonucu		YSA Tahmini		Yüzde Hata	
	f_1 (Hz)	f_2 (Hz)	f_1 (Hz)	f_2 (Hz)	f_1 (Hz)	f_2 (Hz)
1	570	1303	584	1585	2.4	21.6
2	570	725	680	1616	19.4	122.9
3	972	1810	576	1557	40.8	14
4	640	751	483	779	24.6	3.7
5	667	1810	555	1529	16.9	15.5
6	652	1810	634	1671	2.7	7.7
7	419	1810	400	1586	4.4	12.4
8	304	1810	318	1733	4.7	4.2
Ortalama Hata					14.5	25.3
Hatanın Standart Sapması					13.6	39.9

DTL için sekiz test durumunda W_1 , W_2 , f_1 ve f_2 için yapılan YSA tahmini sonuçları Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.13'te verilmiştir. W_1 için en yüksek hatanın 6 numaralı test uçuşunda %93.73 ile meydana geldiği görülmektedir. Diğer uçuş durumlarında hata oranları 2 numaralı uçuşa göre düşüktür. W_2 için ise 2 numaralı uçuşta %62.1 hata meydana gelmiştir. DTL için YSA'nın frekans tahminleri incelendiğinde f_1 için 3 numaralı uçuşta %50 hata, f_2 için ise 2 numaralı uçuşta %114.9 hata oranları göze çarpmaktadır. YSA'nın DTL kullanılarak tahmin edilmesinde tüm uçuş noktalarında ortalama hata değerleri W_1 , W_2 , f_1 ve f_2 için sırasıyla %42.4, %23.4, %19.5 ve %33.38 olmuş, hataların standart sapmaları ise %29, %21.2, %20.2 ve %31.7 olarak dikkat çekmiştir.

Çizelge 4.12 : DTL için test koşullarında YSA performansı (W_1, W_2).

No	Test Sonucu		YSA Tahmini		Yüzde Hata	
	W_1 (g ² /Hz)	W_2 (g ² /Hz)	W_1 (g ² /Hz)	W_2 (g ² /Hz)	W_1 (g ² /Hz)	W_2 (g ² /Hz)
1	1.84E-05	0.0146	2.28E-05	0.02	24.5	36.9
2	3.22E-04	0.1273	3.48E-04	0.0482	8.2	62.1
3	2.04E-05	0.022	3.34E-05	0.0259	63.9	17.6
4	4.08E-05	0.0112	2.43E-05	0.0158	40.3	41
5	2.61E-05	0.0213	3.83E-05	0.0189	46.8	11.3
6	1.28E-04	0.0354	2.49E-04	0.0376	93.7	6.2
7	1.36E-05	0.0022	1.47E-05	0.0022	8.3	0.2
8	2.85E-05	0.006	4.38E-05	0.0067	53.7	12
Ortalama Hata					42.4	23.4
Hatanın Standart Sapması					29	21.2

Çizelge 4.13 : DTL için test koşullarında YSA performansı (f_1, f_2).

No	Test Sonucu		YSA Tahmini		Yüzde Hata	
	f_1 (Hz)	f_2 (Hz)	f_1 (Hz)	f_2 (Hz)	f_1 (Hz)	f_2 (Hz)
1	570	1213	592	1432	3.8	18
2	570	722	553	1551	2.9	114.9
3	915	1810	457	1458	50	19.5
4	640	746	679	1073	6.1	43.8
5	606	1810	586	1332	3.4	26.4
6	636	1810	457	1369	28.1	24.4
7	385	1810	435	1568	12.9	13.4
8	293	1810	435	1688	48.3	6.8
Ortalama Hata					19.5	33.4
Hatanın Standart Sapması					20.2	34.7

NKL için sekiz test durumda W_1, W_2, f_1 ve f_2 için yapılan YSA tahmini sonuçları Çizelge 4.14 ve Çizelge 4.15'te verilmiştir. Sonuçlara dikkat edildiğinde W_1 için test noktası 3'te hata oranının %244 mertebelerinde olduğu görülmektedir. Tüm parametre tahminlerinde en yüksek hata oranı bu değerdir. Bununla beraber W_2 'de en yüksek hata

oranı 6 numaralı test koşulunda %85.8 ile meydana gelmiştir. Frekans tahminlerindeki hata oranları genlik değerlerine nispeten daha düşük çıkmıştır. Frekans 1 tahmininde en yüksek hata değeri 4 numaralı uçuş koşulu için %93.9, frekans 2 tahmininde ise 2 numaralı uçuş koşulunda %150.3 olarak meydana gelmiştir. YSA'nın NKL kullanılarak tahmin edilmesinde tüm uçuş noktalarında ortalama hata değerleri W_1 için %53, W_2 için %27.7, f_1 için %25.8 ve f_2 için ise %31.5 çıkmıştır. Hataların standart sapması ise W_1 için %80.6, W_2 için %29.3, f_1 için %29 ve f_2 için ise %49.4 olmuştur.

Çizelge 4.14 : NKL için test koşullarında YSA performansı (W_1 , W_2).

No	Test Sonucu		YSA Tahmini		Yüzde Hata	
	W_1 (g ² /Hz)	W_2 (g ² /Hz)	W_1 (g ² /Hz)	W_2 (g ² /Hz)	W_1 (g ² /Hz)	W_2 (g ² /Hz)
1	6.79E-05	0.054	6.39E-05	0.0667	5.8	23.7
2	6.12E-04	0.5	1.23E-04	0.5571	79.9	12.3
3	4.3E-05	0.11	1.48E-04	0.1114	244	2.4
4	9.15E-05	0.041	6.62E-05	0.0176	27.7	57.3
5	8.25E-05	0.01	1.04E-04	0.0754	25.5	24
6	1.70E-04	0.16	1.48E-04	0.2949	13	85.8
7	2.48E-05	0.009	2.70E-05	0.0104	8.8	12.8
8	9.24E-05	0.023	1.10E-04	0.0233	19.2	2.9
Ortalama Hata					53	27.7
Hatanın Standart Sapması					80.6	29.3

Çizelge 4.15 : NKL için test koşullarında YSA performansı (f_1, f_2).

No	Test Sonucu		YSA Tahmini		Yüzde Hata	
	f_1 (Hz)	f_2 (Hz)	f_1 (Hz)	f_2 (Hz)	f_1 (Hz)	f_2 (Hz)
1	570	1402	595	1492	4.4	6.5
2	570	727	721	1819	26.5	150.3
3	1043	1810	841	1533	19.3	15.3
4	640	755	1241	1055	93.9	39.7
5	700	1810	570	1435	18.6	20.7
6	669	1810	597	1717	10.8	5.1
7	455	1810	586	1672	28.9	7.6
8	316	1810	330	1689	4.3	6.7
Ortalama Hata					25.8	31.5
Hatanın Standart Sapması					29	49.4

ZL için sekiz test durumunda W_1, W_2, f_1 ve f_2 için yapılan YSA tahmini sonuçları Çizelge 4.16 ve Çizelge 4.17’de verilmiştir. Çizelgelere dikkat edildiğinde en düşük performans noktaları ve hata değerleri W_1 için 8 numaralı test koşulunda %133.1, W_2 için 6 numaralı test koşulunda %91.4, f_1 için 8 numaralı test koşulunda %39.7 ve f_2 için 2 numaralı test koşulunda %50.4 olarak görülmektedir. ZL için YSA performansını ölçmeye yarayan ortalama hata değerleri ise tüm noktalarda W_1 için %42.9, W_2 için %31.4, f_1 için %19.1 ve f_2 için ise %32.5 çıkmıştır. Hataların standart sapması ise W_1 için %40.9, W_2 için %28.2, f_1 için %14 ve f_2 için ise %16.2 olmuştur.

Çizelge 4.16 : ZL için test koşullarında YSA performansı (W_1 , W_2).

No	Test Sonucu		YSA Tahmini		Yüzde Hata	
	W_1 (g^2/Hz)	W_2 (g^2/Hz)	W_1 (g^2/Hz)	W_2 (g^2/Hz)	W_1 (g^2/Hz)	W_2 (g^2/Hz)
1	1.94E-05	0.0106	2.38E-05	0.0106	22.4	0.4
2	3.01E-04	0.094	3.08E-04	0.0642	2.6	31.7
3	1.06E-04	0.0067	7.34E-05	0.0083	30.5	23.7
4	7.33E-05	0.0054	3.05E-05	0.0027	58.4	50.2
5	2.50E-05	0.0106	2.97E-05	0.0124	18.8	17.4
6	5.97E-04	0.0215	2.70E-04	0.0411	54.8	91.4
7	4.56E-05	0.00148	3.52E-05	0.0017	22.7	13
8	1.89E-05	0.00311	4.41E-05	0.0038	133.1	23
Ortalama Hata					42.9	31.4
Hatanın Standart Sapması					40.9	28.2

Çizelge 4.17 : ZL için test koşullarında YSA performansı (f_1 , f_2).

No	Test Sonucu		YSA Tahmini		Yüzde Hata	
	f_1 (Hz)	f_2 (Hz)	f_1 (Hz)	f_2 (Hz)	f_1 (Hz)	f_2 (Hz)
1	570	780	511	1054	10.3	35.1
2	570	571	619	859	8.7	50.4
3	570	1491	501	1078	12.1	27.7
4	640	709	426	1109	33.5	56.5
5	449	1275	602	1058	34.1	17.1
6	570	1595	596	936	4.5	41.3
7	429	1213	385	1342	10.3	10.6
8	259	1598	362	1260	39.7	21.2
Ortalama Hata					19.1	32.5
Hatanın Standart Sapması					14.1	16.3

TPTN için sekiz test durumda W_1 , W_2 , f_1 ve f_2 için yapılan YSA tahmini sonuçları Çizelge 4.18 ve Çizelge 4.19’da verilmiştir. W_1 için en yüksek hatanın 6 numaralı test uçuşunda %72.3 ile olduğu görülmektedir. W_2 için ise 3 numaralı uçuşta %64.9 hata oluşmuştur. TPTN için YSA’nın frekans tahminlerine dikkat edildiğinde f_1 için 5

numaralı uçuşta %51.7 hata, f_2 için ise 1 numaralı uçuşta %46 hata oranları gözükmektedir. YSA'nın TPTN kullanılarak tahmin edilmesinde tüm uçuş noktalarında ortalama hata değerleri W_1 , W_2 , f_1 ve f_2 için sırasıyla %46.7, %28.5, %16.6 ve %28.3 olarak meydana gelirken, hataların standart sapmaları ise %24.1, %24.9, %16.6 ve %13.6 olmuştur.

Çizelge 4.18 : TPTN için test koşullarında YSA performansı (W_1 , W_2).

No	Test Sonucu		YSA Tahmini		Yüzde Hata	
	W_1 (g ² /Hz)	W_2 (g ² /Hz)	W_1 (g ² /Hz)	W_2 (g ² /Hz)	W_1 (g ² /Hz)	W_2 (g ² /Hz)
1	4.22E-05	0.0172	4.16E-05	0.01	1.5	41.8
2	8.86E-04	0.1482	4.05E-04	0.0643	54.3	56.6
3	1.48E-04	0.0099	1.17E-04	0.0164	20.8	64.9
4	1.41E-04	0.008	5.09E-05	0.0072	63.9	9.8
5	9.54E-05	0.0157	5.50E-05	0.0154	42.4	1.7
6	1.32E-03	0.0359	3.66E-04	0.0488	72.3	35.9
7	7.17E-05	0.0024	1.14E-04	0.0028	59.6	16.1
8	3.13E-05	0.0064	4.96E-05	0.0063	58.4	0.9
Ortalama Hata					46.7	28.5
Hatanın Standart Sapması					24.1	24.9

Çizelge 4.19 : TPTN için test koşullarında YSA performansı (f_1 , f_2).

No	Test Sonucu		YSA Tahmini		Yüzde Hata	
	f_1 (Hz)	f_2 (Hz)	f_1 (Hz)	f_2 (Hz)	f_1 (Hz)	f_2 (Hz)
1	570	832	441	1215	22.6	46
2	570	571	569	804	0.16	40.9
3	562	1595	591	1155	5.2	27.6
4	640	697	532	892	16.9	27.9
5	422	1374	640	1173	51.7	14.7
6	570	1633	579	963	1.6	41
7	432	1172	373	1412	13.7	20.5
8	289	1391	349	1278	20.9	8.1
Ortalama Hata					16.6	28.3
Hatanın Standart Sapması					16.6	13.6

Log-TPTN için sekiz test durumda W_1 , W_2 , f_1 ve f_2 için yapılan YSA tahmini sonuçları Çizelge 4.20 ve Çizelge 4.21’de verilmiştir. W_1 için test noktası 4’te hata oranının %66.3 olduğu dikkat çekmiştir. Bununla beraber W_2 ’de en yüksek hata oranı 6 numaralı test koşulunda %74.7 olarak meydana gelmiştir. Frekans 1 tahmininde en yüksek hata değeri 8 numaralı uçuş koşulu için %23.3, frekans 2 tahmininde ise 2 numaralı uçuş koşulunda %51.6 olarak meydana gelmiştir. YSA’nın Log-TPTN kullanılarak tahmin edilmesinde tüm uçuş noktalarında ortalama hata değerleri W_1 için %34.3, W_2 için %30.9, f_1 için %15.2 ve f_2 için ise %30.9 çıkmıştır. Hataların standart sapması ise W_1 için %39.9, W_2 için %28.6, f_1 için %10.6 ve f_2 için ise %16.4 olmuştur.

Çizelge 4.20 : Log-TPTN için test koşullarında YSA performansı (W_1 , W_2).

No	Test Sonucu		YSA Tahmini		Yüzde Hata	
	W_1 (g ² /Hz)	W_2 (g ² /Hz)	W_1 (g ² /Hz)	W_2 (g ² /Hz)	W_1 (g ² /Hz)	W_2 (g ² /Hz)
1	3.5E-05	0.01465	2.91E-05	0.0142	16.8	2.9
2	7.68E-04	0.1262	7.55E-04	0.1072	1.6	15.1
3	1.20E-04	0.00888	8.08E-05	0.0156	32.5	75.6
4	1.15E-04	0.00744	3.86E-05	0.0052	66.3	30.4
5	7.75E-05	0.01429	6.19E-05	0.0155	20.2	8.8
6	1.23E-03	0.03159	1.02E-03	0.0552	16.8	74.7
7	3.01E-05	0.00219	2.97E-05	0.0027	1.5	25.1
8	2.91E-05	0.00535	6.36E-05	0.0061	118.9	14.6
Ortalama Hata					34.3	30.9
Hatanın Standart Sapması					39.9	28.6

Çizelge 4.21 : Log-TPTN için test koşullarında YSA performansı (f_1, f_2).

No	Test Sonucu		YSA Tahmini		Yüzde Hata	
	f_1 (Hz)	f_2 (Hz)	f_1 (Hz)	f_2 (Hz)	f_1 (Hz)	f_2 (Hz)
1	570	825	517	908	9.3	10.1
2	570	571	542	866	5	51.6
3	552	1658	527	1177	4.5	29
4	640	699	524	1025	18.1	46.7
5	427	1381	571	842	33.8	39
6	570	1674	534	973	6.4	41.9
7	423	1200	332	1412	21.5	17.7
8	274	1450	338	1293	23.3	10.8
Ortalama Hata					15.2	30.9
Hatanın Standart Sapması					10.6	16.4

Limitlerin birbirleri ile karşılaştırması Çizelge 4.22’de verilmiştir. Sonuçlara dikkat edildiğinde NTL’nin en düşük hata oranına sahip limit olduğu görülmektedir. NTL W_1 değerini %17.9, W_2 değerini ise %15 hata ile tahmin etmiştir. Frekans tahminlerinde ise f_1 %14.5, f_2 ise %25.3 hata ile tahmin edilmiştir. NTL’den sonra Log-TPTN ve DTL hata oranları bakımından iyi görünmektedir. Log-TPTN yapısal cevap tahminde ilk defa denenmiş olup, sonuçları NTL dışındaki limitlere göre iyidir. Log-TPTN W_1 , W_2 , f_1 ve f_2 değerlerini sırası ile %31.3, %30.9, %15.2 ve %30.9 hata ile tahmin etmiştir. DTL sonuçlarına dikkat edildiğinde W_2 değerinin W_1 ’den daha iyi tahmin edildiği görülmektedir. DTL W_1 , W_2 , f_1 ve f_2 değerlerini sırası ile %42.4, %23.4, %19.5 ve %33.4 hata ile tahmin etmiştir. NKL, ZL ve TPTN limitleri ise performans olarak diğer limitlerin gerisinde kalmıştır.

Çizelge 4.22 : Tolerans limitleri performansını karşılaştırması.

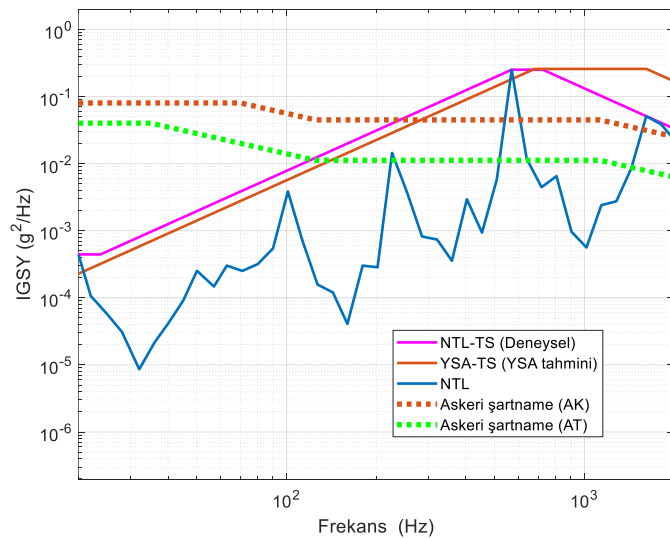
Tolerans limiti	Ortalama hata				Standart sapma			
	W_1 (%)	W_2 (%)	f_1 (%)	f_2 (%)	W_1 (%)	W_2 (%)	f_1 (%)	f_2 (%)
NTL	17.9	15	14.5	25.3	19.7	13	13.6	39.9
DTL	42.4	23.4	19.5	33.4	29	21.2	20.2	34.7
NKL	53	27.7	25.8	31.5	80.6	29.3	29	49.4
ENV	42.9	31.4	19.1	32.5	40.9	28.2	14	16.2
TPTN	46.7	28.5	16.59	28.3	24.1	24.9	16.6	13.6
Log-TPTN	34.3	30.9	15.2	30.9	39.9	28.6	10.6	16.4

4.5. YSA Tahminlerinin Askeri Şartname ile Karşılaştırması

Askeri şartnamede aerodinamik kirli veya temiz kararı kullanıcıya bırakılmış olup, bu durumun tespiti için aerodinamik hesaplamaların yapıp, ona göre karar verilmesi tavsiye edilmektedir. Test koşulları için askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar bundan dolayı 2 ayrı şekilde aerodinamik kirli (AK) ve temiz (AT) olarak verilmiştir.

4.5.1. Askeri şartname ile NTL karşılaştırması

Test koşulu 2’de NTL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil 4.11’de verilmiştir.

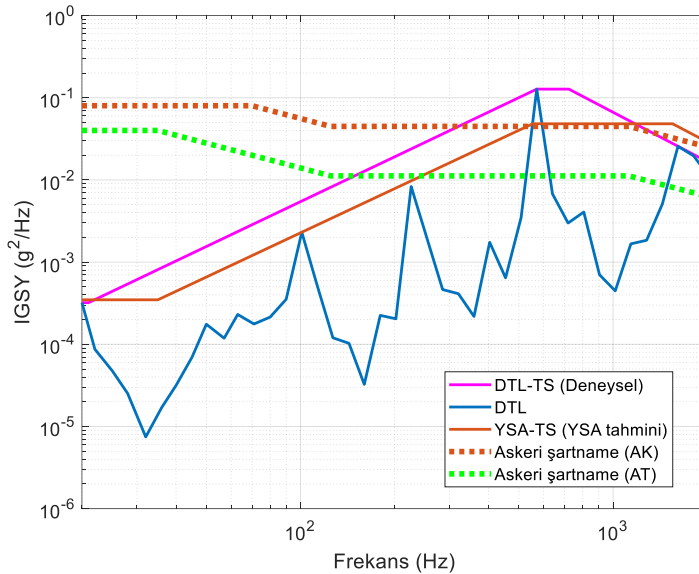


Şekil 4.11 : Test noktası 2’de NTL ve askeri şartname karşılaştırması.

Askeri şartnamelerin önerdiği spektrumlara bakıldığında tüm test noktaları için W_1 değerinin test sonucundan yüksek çıktığı görülmektedir. Bu durum askeri şartnamenin düşük frekanslı İGSY'leri çok korunumlu tarafta bıraktığını göstermektedir. Askeri şartnamede W_1 değerinin W_2 değerinden tüm test noktaları için yüksek çıktığı görülmüştür. Askeri şartname sonucu W_2 değeri test noktası 7 ve 8 için aerodinamik kirli durumda gerçek duruma yakın çıkmıştır. Bununla beraber askeri şartname aerodinamik kirli spektrumu, sadece test noktası 7 ve 8'de yapısal cevaplardan oluşturulan NTL verisini kapsamakta, diğer test noktaları için yetersiz kalmaktadır. Frekans değerleri için YSA tahmini askeri şartnameye göre daha doğru çıkmıştır. Bunun nedeni askeri şartnamede serbest düşüş özelliği gösteren faydalı yükler için frekans değerlerinin f_1 için 125 Hz, f_2 için 1125 Hz olarak kullanılması olabilir.

4.5.2. Askeri şartname ile DTL karşılaştırması

Test koşulu 2'de DTL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil 4.12'de verilmiştir.

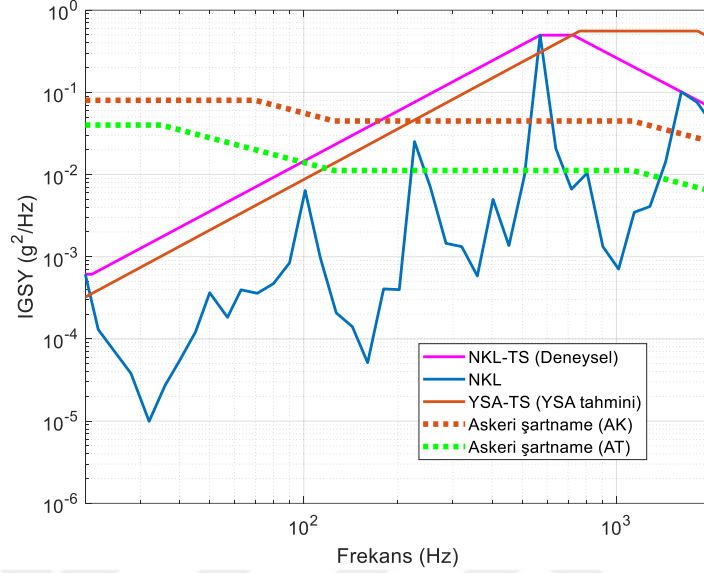


Şekil 4.12 : Test noktası 2'de DTL ve askeri şartname karşılaştırması.

Askeri şartnamenin önerdiği spektrumların tüm test noktalarında düşük frekanslarda DTL spektrumunun üstünde kaldığı görülmektedir. Test noktası 1, 5 ve 6'da askeri şartnamenin yüksek frekans bileşeni DTL ile yakın çıkmıştır. Askeri şartnamenin aerodinamik temiz koşulu için ise tüm test noktalarında yüksek frekans tahminlerinin gerçek duruma göre düşük kaldığı görülmektedir.

4.5.3. Askeri şartname ile NKL karşılaştırması

Test koşulu 2’de NKL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil 4.13’te verilmiştir.

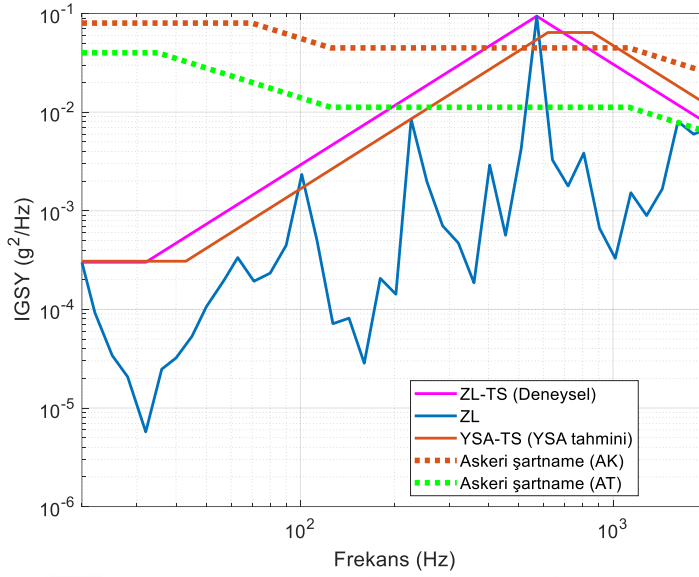


Şekil 4.13 : Test noktası 2’de NKL ve askeri şartname karşılaştırması.

Sonuçlara dikkat edildiğinde deneysel NKL spektrumunun düşük frekanslarda askeri şartnamenin altında kaldığı, yüksek frekanslarda ise askeri şartnamenin üstünde kaldığı görülmektedir. NKL’nin diğer limitlere göre yüksek güvenlik katsayısı içerdiği bilinmektedir. Buna rağmen düşük frekans tahminde askeri şartnamenin önerdiği değerler NKL’ye göre fazladır.

4.5.4. Askeri şartname ile ZL karşılaştırması

Test koşulu 2’de ZL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil 4.14’te verilmiştir.

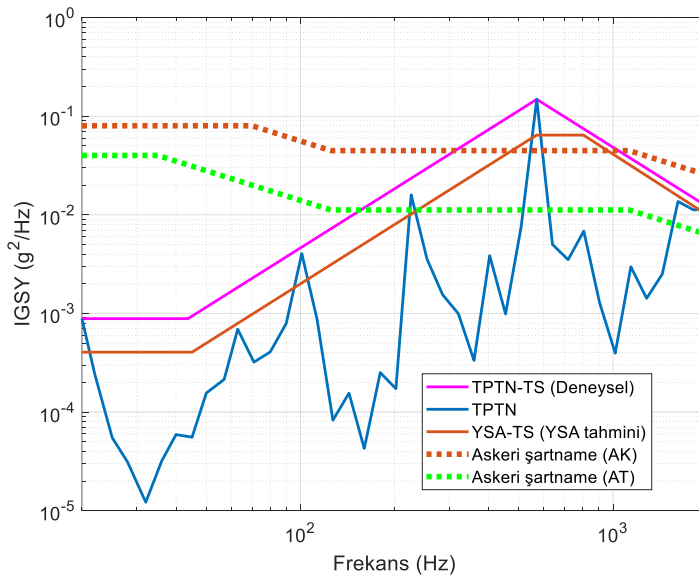


Şekil 4.14 : Test noktası 2'de ZL ve askeri şartname karşılaştırması.

Askeri şartname sonuçlarına dikkat edildiğinde test noktası 7 ve 8'in aerodinamik temiz spektrumlarının yüksek frekans bileşenlerinin deneysel sonuçlar ile yakın olduğu görülmektedir. Diğer test noktalarında ise askeri şartname spektrumu ZL'ye göre yüksek frekanslı olduğundan az, düşük frekanslı olduğundan fazla tahmin etmiştir.

4.5.5. Askeri şartname ile TPTN karşılaştırması

Test koşulu 2'de TPTN ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil 4.15'te verilmiştir.

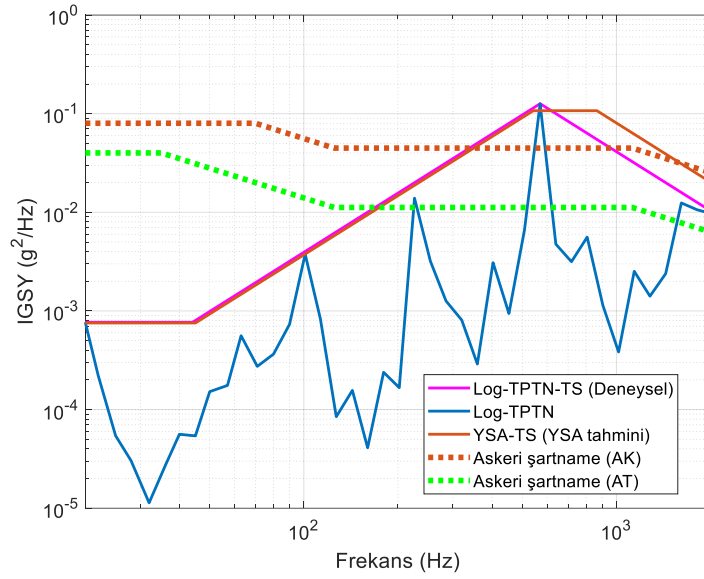


Şekil 4.15 : Test noktası 2'de TPTN ve askeri şartname karşılaştırması.

TPTN sonuçları askeri şartnamenin aerodinamik kirli durumu için yüksek frekans bileşenleri bakımından benzerlik göstermektedir. Bununla beraber askeri şartnamenin düşük frekans tahminlerinde TPTN'ye göre yüksek güvenlik faktörü kullandığı görülmektedir.

4.5.6. Askeri şartname ile Log-TPTN karşılaştırması

Test koşulu 2'de oluşan Log-TPTN ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16 : Test noktası 2'de Log-TPTN ve askeri şartname karşılaştırması.

Askeri şartname sonuçları düşük frekans bileşenlerini Log-TPTN'ye göre yüksek tahmin etmiştir. Askeri şartnamenin yüksek frekans tahmini Log-TPTN'ye göre test noktası 7 ve 8 dışında yüksek çıkmıştır.

Diğer test noktalarında askeri şartname grafikleri Ek 8'de verilmiştir.



5. YAPISAL ANALİZ VE ENİYİLEME SONUÇLARI

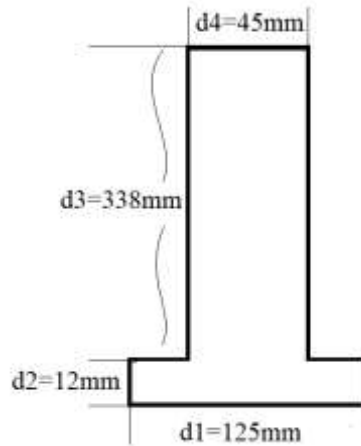
Şekil 3.2’de görüldüğü üzere test noktası 2, en yüksek dinamik basınç ihtiva eden nokta olduğu için en kritik durum olarak seçilmiştir. Yapısal parça tasarımı bu noktadaki İGSY yükleri kullanılarak yapılmıştır. Rastgele yüklerin statik olarak değerlendirmesinde yöntem olarak sınırlı bant genişliğinde İGSY integrali kullanılmıştır. Bu yöntem düşük frekanslı verilerin yapısal parçalar için daha kritik olduğunu öne sürmektedir. Bu yöntemle göre hesaplanan statik yüklemeler Çizelge 5.1’de verilmiştir. Yüklere dikkat edildiğinde askeri şartnamenin yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni askeri şartnamenin düşük frekans genliğini yüksek olarak hesaplamasıdır.

Çizelge 5.1 : Yüklerin karşılaştırması.

Askeri Şartname (g)	YSA tahmini (g)	Test sonucu (g)
12.8	8.7	9.2

5.1. Yükleme ve Sınır Koşulları

Eniyilemeye tabi tutulan geometri T şeklinde olup boyutları Şekil 5.1’de verilmiştir. Parça derinliği 360mm’dir.



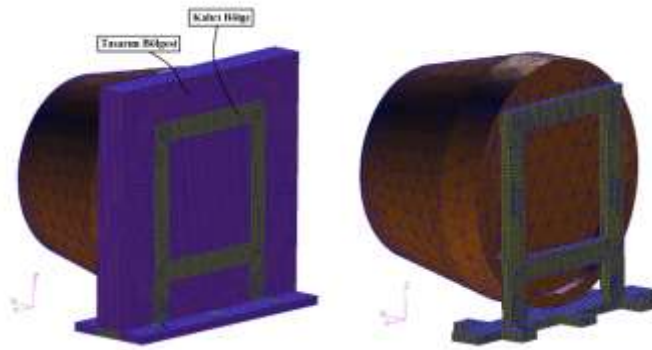
Şekil 5.1 : Eniyileme yapılan geometrinin unsur boyutları

Yük üzerine 1.5 kat güvenlik faktörü eklenmiştir. Tutucu malzemesi olarak Alüminyum 5000 serisi seçilmiştir. Bu malzeme için elastik modül 70 GPa, yoğunluk 2.8 g/cm^3 , Poisson oranı 0.33 olarak kullanılmıştır. Malzeme akma dayanımı 123 MPa'dır [76]. Çizelge 5.1'deki yükler atalet yükü olarak tüm yönlerde verilmiştir.

5.2. Yapısal Eniyileme

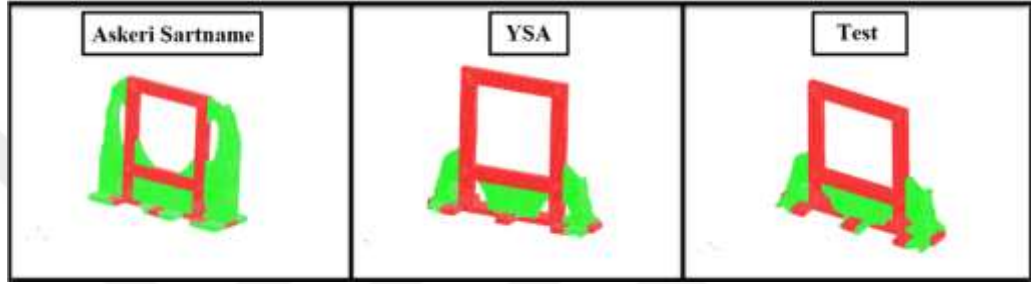
Bir ekipman tutucusu parçasının Çizelge 5.1'de verilen yükler altında tasarımları paket eniyileme programı VRAND Genesis ile yapılmıştır [77]. Topoloji eniyilemesinde hedef fonksiyon olarak kütle azaltımı seçilmiş olup, kısıt olarak ise von Mises gerilmesinin akma dayanımının üstüne çıkmaması tanımlanmıştır.

Ekipman tutucusunun sonlu elemanlar modeli görseli Şekil 5.2'de verilmiştir. Kırmızı renkli parça ekipmandır. Tutucu parça z ekseninde alt taraftan faydalı yüke bağlanırken, x ekseninde ön taraftan ise ekipmanı tutmaktadır. Bağlantı bölgelerinde esnemez elemanlar kullanılmıştır. Tutucu parçasında esnemez elemanlar arasında sürekli bir geçişin olması için bu bölgeler arası eniyilemenin dışında bırakılmıştır. Bu bölge sarı ile gösterilen kısım olup, geriye kalan hacim tasarım bölgesi olarak tutularak eniyilemeye çalışılmıştır. Tutucu parçasını alt bölümünde bulunan deliklerde yer alan düğüm noktalarının tüm serbestlik dereceleri sıfırlanmıştır. Ekipman on düğüm noktalı tetrahedron elemanlardan oluşurken, tutucu parçası ise 8 düğüm noktalı hegzagonal elemanlardan oluşmaktadır. Sonlu elemanlar modelinde 102541 düğüm noktası, 76987 eleman ve dört adet esnemez bünye elemanı bulunmaktadır. Tutucu üzerinde tasarım bölgesi kütlesi 8 kg, esnemez elemanlar arasındaki kalıcı bölgenin kütlesi ise 2 kg'dır.



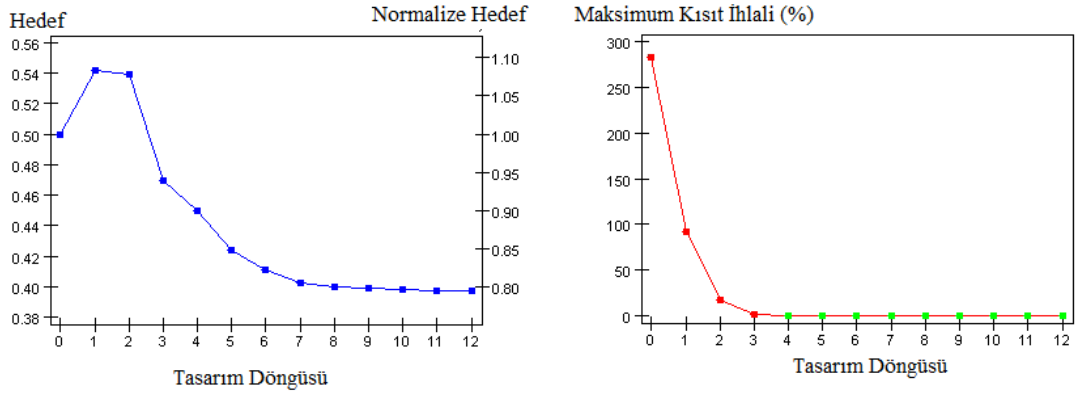
Şekil 5.2 : Yapısal tasarım örneği sonlu elemanlar modeli.

Üç farklı yükleme durumuna göre üç farklı geometri eniyileme sonucu ortaya çıkmıştır. Bu geometrilerin kütle dağılımı görselleri Şekil 5.3'te verilmiştir. Burada yeşil ile gösterilen bölge tasarım bölgesi olup, kırmızı ile gösterilen bölge ise kalıcı bölgedir. Şekil 5.3'e dikkat edildiğinde askeri şartname yüküne göre tasarlanan yapının en çok kütleyle sahip olduğu görülmektedir. Askeri şartname yükü ile yapılan eniyileme sonucu yapı 3.2 kg kütleyle sahipken, YSA tahmini yük kullanılarak yapılan eniyileme sonucu ortaya çıkan yapının kütlesi 1.1 kg'dır. Kütle değeri test sonucu yüke göre yapıldığında 1.3 kg çıkmıştır.



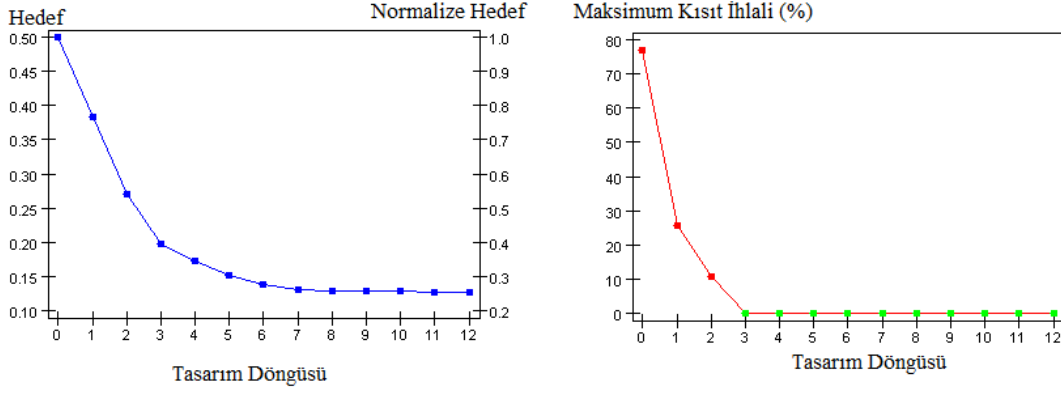
Şekil 5.3 : Yapıların kütle dağılımı.

Askeri şartname yüklerinin kullanıldığı eniyileme hesaplamasına ait hedef ve kısıt fonksiyonlarının iterasyonlar arasında değişimi Şekil 5.4'te verilmiştir. Hedef değerinin iterasyon sonunda %40'ının yakalandığı görülmektedir. Bununla beraber son iterasyonda herhangi bir kısıtlama ihlali yoktur.



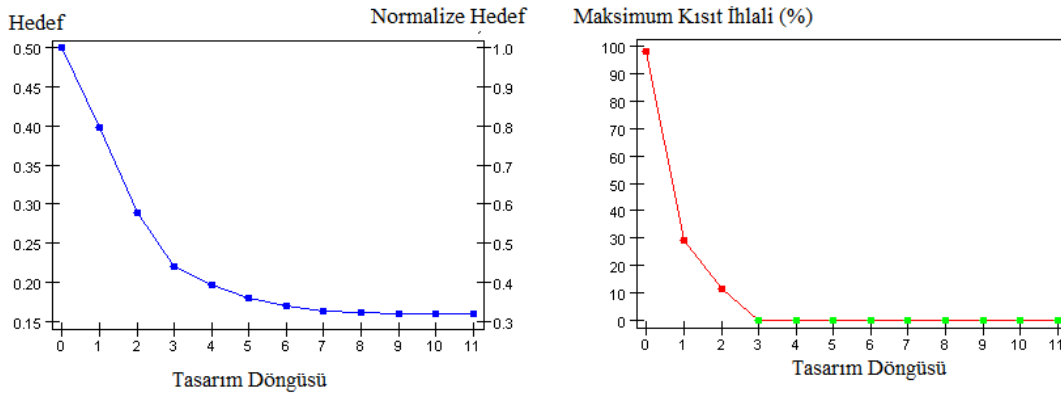
Şekil 5.4 : Askeri şartname yükleri ile yapılan eniyilemeye ait hedef ve kısıt fonksiyonları.

YSA yüklerinin kullanıldığı eniyileme hesaplamasına ait hedef ve kısıt fonksiyonlarının iterasyonlar arasında değişimi Şekil 5.5'te verilmiştir. Hedef değerinin iterasyon sonunda %14'ünün yakalandığı görülmektedir. Bununla beraber son iterasyonda herhangi bir kısıtlama ihlali yoktur.



Şekil 5.5 : YSA yükleri ile yapılan eniyilemeye ait hedef ve kısıt fonksiyonları.

Test yüklerinin kullanıldığı eniyileme hesaplamasına ait hedef ve kısıt fonksiyonlarının iterasyonlar arasında değişimi Şekil 5.6'da verilmiştir. Hedef değerinin iterasyon sonunda %16'sının yakalandığı görülmektedir. Bununla beraber son iterasyonda herhangi bir kısıtlama ihlali yoktur.



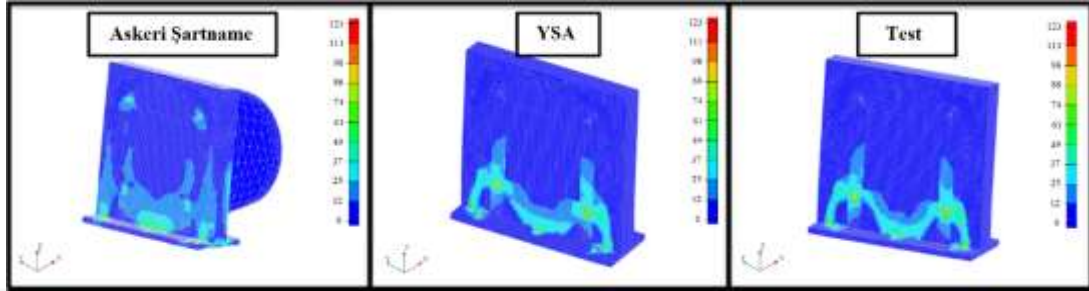
Şekil 5.6 : Test yükleri ile yapılan eniyilemeye ait hedef ve kısıt fonksiyonları.

Yapısal eniyileme hesaplamaları her bir durum için yaklaşık yarım saat sürmektedir. Bilgisayar özellikler Ek 10'da verilmiştir.

5.3. Yapısal Analiz

Üç farklı yükleme sonucu yapılardaki von Mises gerilme dağılımları Şekil 5.7'de verilmiştir. Şekildeki görseller incelendiğinde YSA ve test yükleri sonucu oluşan gerilme dağılımlarının birbirlerine benzediği görülmektedir. Bunun nedeni iki yüklemenin derece olarak birbirine yakın olmasıdır. Bununla beraber askeri şartname yüklemesinde yüksek gerilmelerin daha geniş bir alana yayıldığı görülmektedir. Bu

yaygın ve görece yüksek gerilme dağılımı yapıda daha fazla gerinim enerjisi oluştuğunu göstermektedir. Bunun nedeni olarak Çizelge 5.1’de hesaplanan askeri şartname yükünün YSA ve test yüküne göre fazla olması gösterilebilir. En yüksek gerilme değeri her üç analiz için de ekipmanın tutucuya bağlandığı alt deliklerde bulunan elemanlarda meydana gelmiştir.

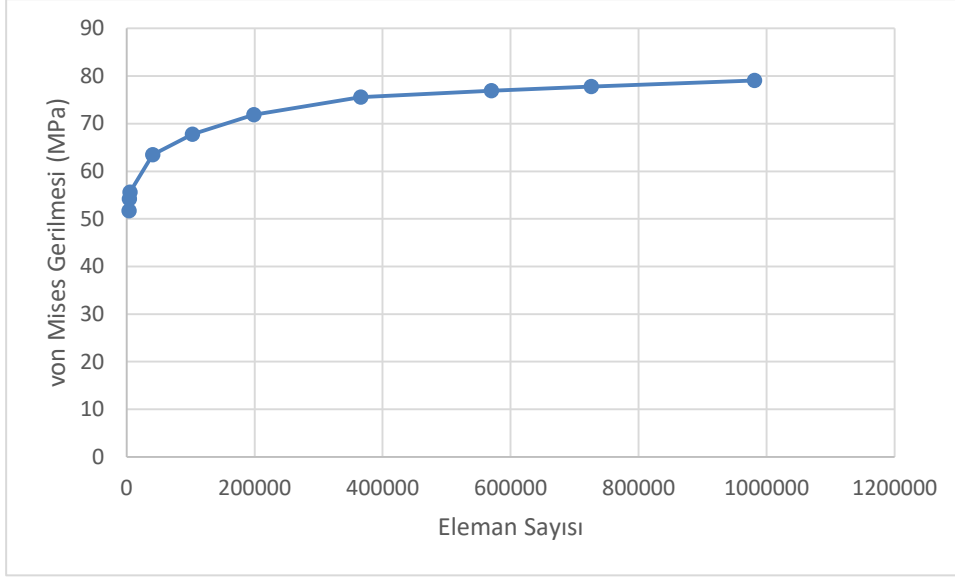


Şekil 5.7 : Yapılarda meydana gelen von Mises gerilme dağılımı.

YSA tahmini ve askeri şartnamelerdeki yükler kullanılarak yapılan eniyilemeler sonucu ortaya çıkan geometrilere test sonucu elde edilen yük uygulanarak sonlu elemanlar modeli incelemeleri yapılmıştır. Bu incelemeler MSC Patran ve Nastran paket programı kullanılarak yapılmıştır [78, 79]. Yüklemelerde 1.5 güvenlik faktörü bulunmaktadır. Yapısal analizlerde bölüntüleme hassasiyet çalışması yapılmıştır. Bu kapsamda iki farklı geometri de değişik sayıda ve kabadan inceye doğru sıklıkta artan eleman sayıları ile bölüntülenmiş, her bir analiz sonucunda oluşan en yüksek von Mises gerilmesi kaydedilmiştir. Eleman sayısı ve oluşan von Mises gerilmesi arasındaki ilişki ortaya çıkarılmış, gerilmesin hangi değere yakınsadığı tespit edilmiştir.

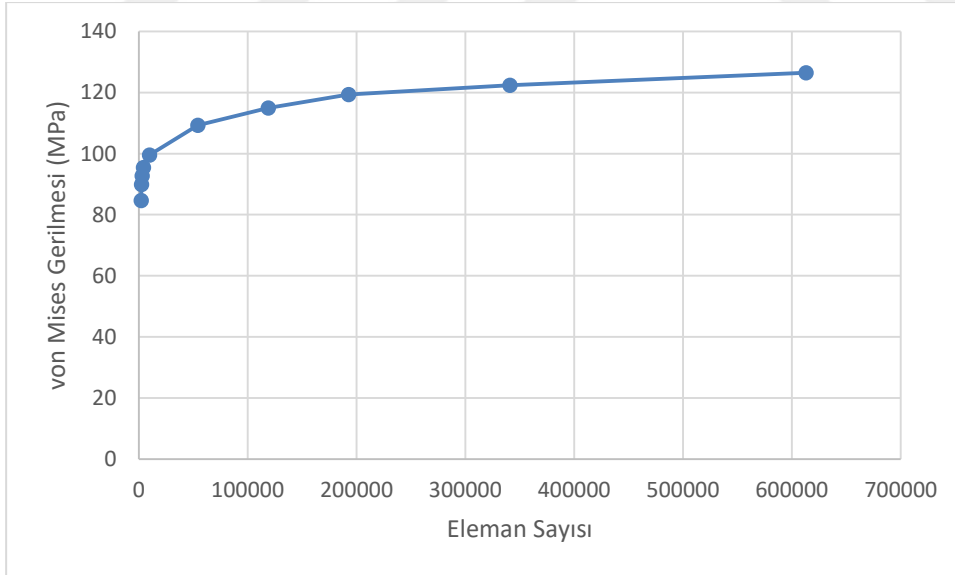
Askeri şartname geometrisine test yükleri ile yapılan bölüntüleme hassasiyeti çalışması sonucu elde edilen grafik Şekil 5.8’de verilmiştir. Eleman sayısının arttığı değerlere karşılık von Mises gerilmesinde de artış dikkat çekmektedir. Gerilme değerinin 80 MPa mertebesine yakınsadığı görülmektedir.

Yapısal analizler her durum için yaklaşık 10 dk sürmektedir. Bilgisayar özellikler Ek 10’da verilmiştir.



Şekil 5.8 : Test yükleri ile askeri şartname geometrisine yapılan sonlu elemanlar analizi bölüntüleme hassasiyet çalışması.

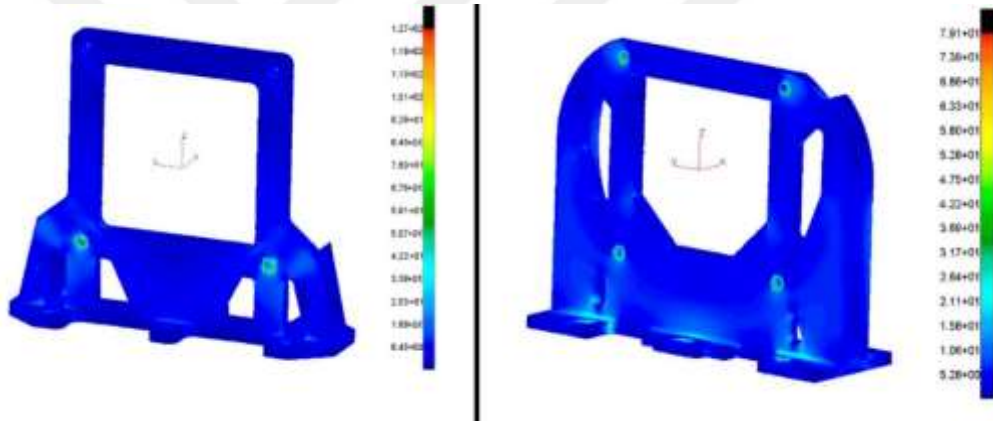
YSA geometrisine test yükleri ile yapılan bölüntüleme hassasiyeti çalışması sonucu elde edilen grafik Şekil 5.9'da verilmiştir. Eleman sayısının arttığı değerlere karşılık von Mises gerilmesinde de artış olduğu görülmektedir. Gerilme değerinin yaklaşık 130 MPa mertebesine yakınsadığı görülmektedir.



Şekil 5.9 : Test yükleri ile YSA geometrisine yapılan sonlu elemanlar analizi bölüntüleme hassasiyet çalışması.

Bölüntüleme hassasiyet analizinde en çok eleman sayısı kullanılarak yapılan analizlerin von Mises gerilme dağılımlarının sonuçları bu kısımda verilmiştir. YSA geometrisi kullanılıp, test yükü verilen durum Şekil 5.10'da sol tarafta verilmiş olup

von Mises gerilmesi değer 127 MPa'dır. Bu değer malzeme akma dayanımı olan 123 MPa'a yakın olup, tasarım yükleme mertebesine göre uygundur. Bunun nedeni YSA yükleri ile test yüklerinin mertebe olarak birbirine yakın olmasıdır. Askeri Şartname geometrisine test yükleri ile yapılan analiz sonucu von Mises gerilmesi dağılımı ise Şekil 5.10'da sağ tarafta verilmiştir. Askeri Şartname yükleri yüksek olduğu için, bu yükte çalıŐan yapı da mukavim bir yapı çıkmıştır. Bu mukavim yapıya test yükü uygulandığında ise von Mises gerilme dağılımınının 79 MPa mertebelerinde çıktığı görülmüştür. Askeri Şartname sonucu ortaya çıkan yapının fazla güvenlikli olduğu görülmektedir. Ortaya çıkan yapı geometrilerine dikkat edildiğinde askeri Şartname yükleme sonucu oluşan yapının üst kısımlarında ayrıca federler olduğu görülmektedir. Bu federlerin yapıdaki gerilmeleri düŐürmek için oluŐturulduęu görülmektedir.



Şekil 5.10 : Test yükleri ile yapılan sonlu elemanlar analizi sonucu yapılarda meydana gelen von Mises gerilme dağılımı.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Genel Değerlendirme

Hava akışı kaynaklı titreşimler faydalı yük benzeri hava araçları tasarımında ve testlerinde göz önünde bulundurulması gereken en önemli uçuş yüklerinin başında gelmektedir. Titreşim neticesinde mekanik parçalarda oluşan gerilme artışları; yapısal parçalarda mukavemet kaybına ve direngenlik düşüşüne yol açtığından yapısal bütünlük için risk teşkil etmektedir. Ayrıca, özellikle elektronik kartlar ve hassas ölçer sistemlerde bozulmalar ve hatalı ölçümler meydana gelebilir.

Bir faydalı yükün esir taşıma titreşimi altında görevini başarıyla yerine getirmesi, tasarım aşamasında titreşim seviyesinin doğru bir şekilde hesaplanmasına, yer testlerinin buna uygun olarak yapılmasına ve ürünün bu şartlarda kalifiye edilmesine bağlıdır. Hatalı öngörü hatalı tasarıma, hatalı tasarım ise faydalı yükün görevini ifa edememesine neden olabilir. Esir taşıma titreşiminin düşük tahmin edilmesi, en basit anlamıyla yapısal parçaların ince cidarlı tasarlanmasına ve görevi esnasında kırılmasına sebebiyet verebilir. Bununla beraber, esir taşıma titreşiminin olduğundan fazla öngörülmesi, yapısal parçaların kalın tasarlanmasına ve sistemin ağır olmasına neden olabilir.

Mekanik, yapısal, kinematik vb hesaplarının detaylıca yapılması için tasarım yüklerine ihtiyaç vardır. Bu yüklerin elde edilmesinde ölçüm verileri veya askeri şartnameler kullanılabilir. Tasarım otoritesi, ölçüm verilerinin olmadığı durumlarda dış yüklemelere dayanan parçalar türetmek için askeri şartnameleri kullanmak zorunda kalabilir. Askeri şartnamelerde rastgele titreşim hesaplamalarında kullanılması gereken bazı bilgiler ise muğlaktır. Örneğin, faydalı yüklerin dış geometrisinin aerodinamik kirli olma durumunun ayrıca değerlendirilmesi gerektiği belirtilmektedir. Nitekim, bu değerlendirmeyi yapmak için kapsamlı hesaplamalı akışkanlar mekaniği incelemelerinin yapılması elzemdir. Bununla beraber bu incelemeler neticesinde bir faydalı yükün değerine göre ne kadar aerodinamik kirli akış yaratacağının belirlenmesi ise güçtür. Askeri şartnamelere göre titreşim yüklerini ortaya çıkaran otorite, bu

güçlüklerden dolayı risk almamak adına, genellikle en kötü durumunu yaratan aerodinamik kirli durumuna göre yük durumlarını çıkartır. Bunun neticesinde faydalı yükün dayanması ve çalışır olması gereken titreşim yükü iki ile dört kat arasında artabilir.

Askeri şartnamelerde anılan titreşim yüklerinin yüksek olduğu ise ancak uçuş testleri sonrasında görülür. Bu safhada, titreşim seviyesinin yüksek olduğunun fark edilmesinin genellikle tasarımlar üzerinde bir etkisi olmaz. Halbuki parça kalınlığının değiştirilmesi veya daha maliyet etkin bir parça seçilmesi gibi seçenekler vardır. Fakat, proje halihazırda kalifiye edildiği ve uçuş testlerinin tekrar yapılmasının takvimsel ve maliyetsel güçlüğü sebebiyle, tasarımların revize edilmesi seçeneği değerlendirme dışı tutulur.

Askeri şartnamelerde anılan esir taşıma titreşim seviyelerinin tasarım ve üretim sonrası yer testleri aşamasında kullanımında güçlükler meydana gelebilir. Yüksek seviye titreşim seviyesini uygulayan test merkezi bulmak zor olabilir. Ayrıca, test esnasında hatalar ve bozulmalar hatta kırılmalar meydana gelebilir. Bu tür olumsuz durumlar teste giren tasarımların ve tedariklerin yenilenmesini gerektirebilir. Bundan dolayı, esir taşıma titreşiminin tasarım aşamasında hızlı ve doğru bir şekilde öngörülmesi zaman ve iş gücü kazancı açısından oldukça önemlidir.

Tez kapsamında jet uçağına bağlı olarak taşınan faydalı yüklerin içinde bulunan ekipmanların tasarımlarında, tedarik olarak temininde veya test edilmesinde kullanılan titreşim seviyelerini tahmin etmeye yarayan bir yöntem geliştirilmiştir. Uçuş verilerinin işlenmesi, belirsizliklerin ortadan kaldırılmasına yönelik tolerans limiti hesaplamaları, duyargaların ölçümlendirme işlemleri ve yapay sinir ağları çalışmaları tez kapsamında sunulmuştur. Hesaplamalar neticesinde elde edilen titreşim seviyelerinin yapısal parçalara etkilerini göstermek için bir vaka örneği çalışması da gerçekleştirilmiştir. Vaka örneği çalışmasında YSA tahmini, test sonucu ve askeri şartnamelerdeki titreşim yüklerinin etkileri ortaya konulmuştur.

Hesaplamalarda kullanılan yöntem sonucu ortaya çıkan titreşim seviyeleri, literatürde bulunan ve RMS cinsinden verilen faydalı yük titreşim seviyesi sonuçlarıyla kıyaslama yapılarak doğrulanmıştır. Bu doğrulama çalışması iki farklı literatür kaynağı ile yapılmıştır. Bu iki literatür kaynağı ile yapılan doğrulama hesaplarına göre verilerin güvenilirliği kanıtlanmıştır. Doğrulama çalışması 4. Bölümde detaylandırılmıştır.

İrtifa ve Mach sayısı cinsinden veri havuzu oluşturulmuş, bu havuz içindeki eğitim ve test noktalarında esir taşıma uçuşları icra edilmiştir. Bu uçuşlar sırasında faydalı yük içinden toplanan ivmeölçer verileri ve uçak içinden toplanan irtifa ve Mach sayısı verileri kaydedilmiştir. Tolerans limitleri eklenmiş uçuş verileri, her uçuş koşulu için frekans tabanında dört parametre olarak ifade edilmiştir. YSA yetmiş beş uçuş durumu için eğitilmiş, eğitim verisi dışında tutulan ve rastgele seçilen sekiz farklı durum için ise test edilmiştir. Test spektrumunu oluşturan W_1 , W_2 , f_1 ve f_2 değerlerinin bahsedilen yöntem ile yeterli olarak tahmin edildiği değerlendirilmektedir. Tüm test noktalarında YSA tahminleri askeri şartnameye oranla daha iyi sonuç vermiştir. Dört farklı parametre tahmininin ise, literatürde görülen ve titreşim seviyesinin şiddetini sadece RMS cinsinden tahmin eden yöntemlere göre daha kapsamlı olduğu söylenebilir. Askeri şartnamelerin özellikle düşük frekanslı olarak kabul edilen 20-150 Hz bant genişliğinde deneysel test sonuçlarına göre yüksek genlik önerdiği görülmüştür. Yükseklik farkı bazı durumlarda 50 kat mertebelerine çıkmıştır. Askeri şartnameye göre tasarlanan yapısal parçaların aşırı korunumlu olmasının sebebi bu olabilir. Askeri şartnamede önerilen titreşim profili önermesi bir uçak ile birçok faydalı yükün test edilmesi ile oluşmuş ampirik çalışmalara dayanmaktadır. Bazı kaynaklarda uçak farkının, faydalı yük üzerinde drastik bir etkisinin olmadığı söylene de, görev bakımından farklı olan bazı uçak tiplerinin yüksek ve düşük frekanslarda davranışının farklı olduğu bazı çalışmalarda gösterilmiştir. Özellikle hava üstünlüğü özelliği gösteren ince tipte olan bazı uçakların bombardıman tipteki uçaklara göre farklı titreşim cevapları ürettiği bilinmektedir. Askeri standardın düşük frekansta yüksek genlik görülmesinin nedeni standartta kullanılan uçağın farklı tipte olması olabilir. Çalışma sonucu önerilen yöntemde, verilerdeki belirsizliklerden dolayı bir miktar güvenlik payı eklenmesini öngören tolerans limitleri de kullanılmıştır. Tolerans limitlerindeki belirsizliğin derecesini belirleyen alfa ve beta değerleri havacılık yapılarında kullanılan katsayılardan seçilmiş olup, limitler arası benzer niteliktedir. NKL'nin tolerans limitleri arasında en yüksek korunum katsayısı kullanılan tür olduğu görülmektedir. NKL tolerans limitleri içinde performans olarak en yüksek hataya sahiptir. NTL tolerans limitlerinden en iyi sonuç veren olarak öne çıkmaktadır. DTL, NTL'den sonra en iyi sonuç veren ikinci tolerans limitidir. ZL içinde bir korunum ihtiva etmemesine rağmen performans olarak DTL'ye yakındır. Bu çalışma kapsamında tolerans limiti olarak üçüncü mertebeden normal ve logaritmik polinom dönüşümü kullanılmıştır. Bu dönüşümlerin az sayıda örneklerde iyi sonuç verdiği

bilinmektedir. Nitekim logaritmik dönüşümün tolerans limiti olarak kullanımının bazı parametre tahminlerinde NTL'den sonra en iyi sonucu verdiği görülmüştür. Bu dönüşümün diğer limitlere göre iyi performans vermesinin nedeni olarak sınırlı sayıda veride başarılı olması gösterilebilir.

Tez kapsamında ayrıca yapısal tasarımlarda askeri şartname kullanımının kütleli olarak maliyeti bir vaka örneği çalışması ile gösterilmiştir. Hesaplamalarda üç farklı yük koşulu olarak YSA tahmini, test sonucu ve askeri şartname sonucu hesaplanan rastgele titreşim yükleri kullanılmıştır. Rastgele titreşim yüklerinin yapısal parça tasarımlarında statik yük olarak hesaplanması sağlanmıştır. Hesaplanan üç farklı yükleme altında çalışması gereken bir tutucu parçanın yapısal eniyilemesi yapılmıştır. Yapısal eniyileme sonuçları yapı tasarımlarında askeri şartname kullanımının, yapıları kalın ve ağır yaptığını ortaya koymuştur. Düşük frekans bantlarındaki yüklemeler yapısal parça tasarımlarında yüksek frekans bandı olarak kabul edilen 150-2000 Hz bandına göre daha etkilidir. Bu etki askeri şartnameye göre eniyileme yapılan parçanın ağır olmasına neden olmuştur. Tez kapsamında önerilen yöntem ile eniyilemesi yapılan yapıların hafiflediği ve aynı zamanda gerilme kısıtlarını sağladığı görülmüştür.

6.2. Gelecek Çalışmaları için Öneriler

İleriki aşamada gerçekleştirilecek çalışmalarda, önerilen metoda farklı özelliklerin eklenmesi mümkün olabilir. Olası kabiliyet geliştirme alanları aşağıda verilmiştir.

- Süpersonik uçuşlar test ve eğitim noktalarına eklenebilir. Bu sayede süpersonik hızlarda tahmin yapılabilir.
- Faydalı yük kuyruk kısmına duyurga ölçümlendirmesi yapılarak faydalı yük uç noktalarındaki yapısal cevaplar tahmin edilebilir.
- Yapısal cevaplar frekans bandında dört farklı parametre yerine tek bir sayı olarak g-rms cinsinden ifade edilebilir. Bu sayede hata oranlarının düşmesi sağlanabilir.
- Hesaplamalı akışkanlar mekaniği kullanılarak uçak kanadı ve faydalı yüklerin beraber olduğu geçici (*İng. Transient*) simülasyonlar icra edilebilir. Zaman cinsinden elde edilen sinyaller frekans bandına dönüştürülebilir. Bu veriler deneysel sonuçlar ile kalibre edilebilir.
- Faydalı yük ve uçak kanadının beraber olduğu rüzgâr tüneli testleri değişik uçuş koşulları için icra edilebilir. Sınırlı sayıda yapılan uçuş testleri ile kalibre

edilen doğrulanmış rüzgâr tüneli testleri kullanılarak, uçuş zarfında daha çok noktada eğitim ve test verileri türetilebilir.

- Faydalı yük içerisinde mikrofon konularak, yüksek frekans bandındaki akustik titreşimler, düşük frekans girdilerinden ayrılabilir.
- Farklı istasyonlarda faydalı yük cevapları test edilebilir. Uçak kanadından uzaklaşan istasyonlar için bir titreşim tahmini yaklaşımı yapılabilir.
- Farklı uçaklarda bulunan benzer faydalı yük cevapları incelenebilir. Bu sayede askeri standartta düşük frekansta üretilen yüksek genliklerin nedeni anlaşılabilir.





KAYNAKLAR

- [1] **US DoD**, (1998). MIL-HDBK-1763, Aircraft/stores compatibility: Systems engineering data requirements and test procedures.
- [2] **Meirovitch L.**, *Fundamentals of vibrations*. Waveland Press, (2010).
- [3] **Şekerci HU.**, Bir Hava Aracı Komponentinin Dinamik Karakteristiklerinin Teorik ve Deneysel Modal Analiz Metoduyla Belirlenmesi, *Ph.D. thesis*, İstanbul Teknik Üniversitesi, (2013).
- [4] **US DoD.**, (2008). MIL-STD-810G, Environmental engineering considerations and laboratory tests. US Department of Defense: Washington, DC, USA.
- [5] **Tedesco J, McDougal WG, Ross CA.**, *Structural dynamics*, New York: Pearson Education, (2000).
- [6] **Scott AD**, (1996). An analysis of spacecraft dynamic testing at the vehicle level. Naval Postgraduate School, California-USA
- [7] **Green D, Unruh WG.**, (2006)., The failure of the Tacoma Bridge: A physical model. *American journal of physics*, 74(8), 706-716.
- [8] **German Federal Bureau of Aircraft Accident Investigation**, (2010). Investigation Report, 3X181-0/06.
- [9] **Storey W.**, (2012). Bird Strike: The Crash of the Boston Electra. *Historical Journal of Massachusetts*, 40(1/2), 263.
- [10] **Valeev A, Kharisov S.**, (2016). Application of vibration isolators with a low stiffness for the strongly vibrating equipment. *Procedia Engineering*, 150, 641-646.
- [11] **Von Tongeren JH, Maas R.**, (2010). Derivation of shaker spectra for structural certification from helicopter flight test vibration measurements. National Aerospace Laboratory, Netherlands.
- [12] **Kehoe MW, Freudinger LC.**, (1993). Aircraft Ground Vibration Testing at the NASA Dryden Flight Research Facility, NASA TM-104275.
- [13] **Lang GF.**, (1997). Electrodynamic shaker fundamentals. *Sound and vibration*, 31(4), 14-23.
- [14] **Noël JP, Renson L, Kerschen G, Peeters B, Manzato S, Debille J.**, (2013). Nonlinear dynamic analysis of an F-16 aircraft using GVT data. In *Proceedings of the international forum on aeroelasticity and structural dynamics*.
- [15] **Pehlivanoglu V., Renson L, Kerschen G, Peeters B, Manzato S, Debille J.**, (2021). Aircraft Design Course Notes, İzmir Ekonomi Üniversitesi.

- [16] **Foughner JT, Bensinger CT.**, (1977). F-16 flutter model studies with external wing stores.
- [17] **O'Bannon DE.**, (1964). Mau-12A/ A Bomb Ejector Rack Stress Analysis. Report for the Research and Technology Division Air Force Systems Command. Report no. WL TDR-64-33, New Mexico: Air Force Weapons Laboratory.
- [18] **Cumhurbaşkanlığı Savunma Sanayii Başkanlığı**, 2019. Türk Savunma Sanayii Ürün Kataloğu, Güzümlü, Hassas Güzüm Kiti 82.
- [19] **Schoppert, TC.**, (2002). Dynamic model of the interface reactions in an aircraft bomb rack due to an external store.
- [20] **Runyan HL.**, (1968) Some Recent Information on Aircraft Vibration Due to Aerodynamic Sources.
- [21] **Schelfhout, SJ.** (1994). MK 83 Warhead Effectiveness Tests. Naval Surface Warfare Center Panama City Fl.
- [22] **Kim J, Park S, Eun W, Shin S, Lee S.**, (2016). Vibratory loads and response prediction for a highspeed flight vehicle during launch events. *International Journal of Aeronautical and Space Sciences.* ;17(4):551–564.
- [23] **Jang J, Park JW.**, (2020). Simplified Vibration PSD Synthesis Method for MIL-STD-810. *Applied Sciences.* 10(2):458.
- [24] **Nevius H, Brignac W.**, (1981) Dynamic qualification testing of F-16 equipment. AGARD Dyn Environ Qualification Tech 15 p(SEE N 82-22154 13-01).
- [25] **Das BK, Kumar P.**, (2015). Tailoring of Specifications for Random Vibration Testing of Military Airborne Equipments from Measurement. *International Journal of Research in Engineering and Technology.* ;4(12):293–299.
- [26] **Hall PS.**, (1980). Vibration Test Level Criteria for Aircraft Equipment. Air Force Wright Aeronautical Lab Wright-Patterson AFB Oh.
- [27] **Guanjun L, Hui Z, Jing Q, Kehong L, Qinmu S.**, (2015). Mechanism of intermittent failures in extreme vibration environment and online diagnosis technology. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering.* ;229(13):2469–2480.
- [28] **US DoD.**, (1994). MIL-STD-8591, Airborne Stores, Suspension Equipment and Aircraft-Store Interface (Carriage Phase). US Department of Defense: Washington, DC, USA.
- [29] **Lalanne C.**, *Mechanical Vibration and Shock Analysis, Specification Development*, John Wiley & Sons, (2013).
- [30] **Steininger M., Haidl G.**, (1981). Vibration qualification of external A/C stores and equipment. AGARD Dyn. Environ. Qualification Tech 14 p(SEE N 82-22154 13-01)
- [31] **Corda S.**, (2002). In-flight vibration environment of the NASA F-15B flight test fixture. NASA Dryden Flight Research Center.

- [32] **Sevy RW, Haller MN.,** (1977). Computer Program for Vibration Prediction of Fighter Aircraft Equipments. Air Force Flight Dynamics Lab Wright-Patterson AFB Oh.
- [33] **Yıldız EN.,** Aeroelastic stability prediction using flutter flight test data, *Ph.D. thesis*, Middle East Technology University, Ankara, (2007).
- [34] **Kutluay U, Mahmutyazicioglu G, Platin B.,**(2009). An application of equation error method to aerodynamic model identification and parameter estimation of a gliding flight vehicle. In: AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference . p. 5724.
- [35] **Mallick M, Mohanta A, Kumar A, Charan Patra K.,** (2020). Prediction of Wind-Induced Mean Pressure Coefficients Using GMDH Neural Network. *Journal of Aerospace Engineering.* ;33(1):04019104.
- [36] **Mazhar F, Choudhry MA, Shehryar M.,** (2019) Nonlinear auto-regressive neural network for mathematical modelling of an airship using experimental data. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering.* ;233(7):2549–2569.
- [37] **Quaranta V, Dimino I.,** (2007) Experimental training and validation of a system for aircraft acoustic signature identification. *Journal of aircraft.* ;44(4):1196–1204.
- [38] **Halle M, Thielecke F.,** (2014). Flight loads estimation using local model networks. In: 29th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences.
- [39] **Caliskan F, Aykan R, Hajiyev C.,** (2008). Aircraft icing detection, identification, and reconfigurable control based on Kalman filtering and neural networks. *Journal of Aerospace Engineering.* ;21(2):51–60.
- [40] **Crowther W, Cooper J.,** (2001). Flight test flutter prediction using neural networks. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering.* ;215(1):37–47.
- [41] **Le Fablec Y, Alliot JM.,** (1999). Using Neural Networks to Predict Aircraft Trajectories. In *IC-AI* (pp. 524-529).
- [42] **Norgaard M, Jorgensen CC, Ross JC.,** (1997). Neural network prediction of new aircraft design coefficients.
- [43] **Byington CS, Watson M, Edwards D.,** (2004). Data-driven neural network methodology to remaining life predictions for aircraft actuator components. In *2004 IEEE Aerospace Conference Proceedings (IEEE Cat. No. 04TH8720)* (Vol. 6, pp. 3581-3589). IEEE.
- [44] **Trivailo PM, Carn CL.,** (2006). The inverse determination of aerodynamic loading from structural response data using neural networks. *Inverse Problems in Science and Engineering,* 14(4), 379-395.
- [45] **Cao X, Sugiyama Y, Mitsui Y.,** (1998). Application of artificial neural networks to load identification. *Computers & structures,* 69(1), 63-78.

- [46] **Berke L, Patnaik SN, Murthy PLN.**, (1993). Optimum design of aerospace structural components using neural networks. *Computers & structures*, 48(6), 1001-1010.
- [47] **Newland DE.**, *An introduction to random vibrations, spectral & wavelet analysis*, Courier Corporation, (2012).
- [48] **Chung YT, Krebs DJ, Peebles JH.**, 2001. Estimation of Payload Random Vibration Loads for Proper Structural Design, AIAA /ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference and Exhibit, Seattle, AW.
- [49] **Edwards TS.**, (2015). Probability of Future Observations Exceeding One-Sided, Normal, Upper Tolerance Limits. *Journal of Spacecraft and Rockets*. ;52(2):622–625.
- [50] **Hughes WO, Paez TL.**, (2006). Application of the bootstrap statistical method in deriving vibroacoustic specifications.
- [51] **Bethea RM, Rhinehart RR.**, *Applied engineering statistics*, vol. 121. CRC Press; (1991).
- [52] **Wang C, Bai J, Wan F, Yan G.**, (2011). Review of statistical induction analysis methods on aircraft vibration test data. *Procedia Environmental Sciences*. ;10:825–830.
- [53] **Gibbons RD.**, (2014). Bhaumik DK, Aryal S. Groundwater Monitoring, Detection, and Compliance. *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online*.
- [54] **Ahsanullah M, Kibria BG, Shakil M.**, (2014). Characterizations of Student's t Distribution. In *Normal and Student's t Distributions and Their Applications* (pp. 129-141). Atlantis Press, Paris.
- [55] **Piersol AG.**, (1996). Procedures to compute maximum structural responses from predictions or measurements at selected points. *Shock and Vibration*. ;3(3):211–221.
- [56] **Ramu P, Arul S.**, (2016). Estimating probabilistic fatigue of Nitinol with scarce samples. *International Journal of Fatigue*. ;85:31–39.
- [57] **Paksoy A, Aradag S.**, (2015) Artificial neural network based prediction of time-dependent behavior for lid-driven cavity FLOWS. *Isi Bilimi ve Teknigi Dergisi/Journal of Thermal Science & Technology*.;35(2).
- [58] **Zhen Z, Liu J, Zhang Z, Wang F, Chai H, Yu Y, et al.**, (2020). Deep learning based surface irradiance mapping model for solar PV power forecasting using sky image. *IEEE Transactions on Industry Applications*. ;56(4):3385–3396.
- [59] **Yang C, Jiang W, Guo Z.**, (2019). Time series data classification based on dual path CNN-RNN cascade network. *IEEE Access*. ;7:155304–155312.
- [60] **Mallela UK, Upadhyay A.**, (2016). Buckling load prediction of laminated composite stiffened panels subjected to in-plane shear using artificial neural networks. *Thin walled structures*, 102:158-164.

- [61] **Sharan A, Vijayaraju K, James D.**, (2013). Synthesis of In-Flight Strains Using Flight Parameters for a Fighter Aircraft. *Journal of aircraft.* ;50(2):469–477.
- [62] **Winter M, Breitsamter C.**, (2018). Nonlinear identification via connected neural networks for unsteady aerodynamic analysis. *Aerospace Science and Technology.* ;77:802–818.
- [63] **Durodola J, Li N, Ramachandra S.**, (2017). Thite A. A pattern recognition artificial neural network method for random fatigue loading life prediction. *International Journal of Fatigue.* ;99:55–67.
- [64] **Durodola JF, Ramachandra S, Gerguri S, Fellows N.**, (2018). Artificial neural network for random fatigue loading analysis including the effect of mean stress. *International Journal of Fatigue.* ;111:321–332.
- [65] **VR&D GENESIS**, (2012). Design manual, Vanderplaats Research & Development, Inc., Colorado-USA.
- [66] **PCB Piezotronics**, (1967). PCB Inc., New York-USA.
- [67] **NASA Technical Handbook**, (2001). Dynamic Environmental Criteria (NASA report# HDBK-7005).
- [68] **Schmid H.**, (2012). How to use the FFT and Matlab's pwelch function for signal and noise simulations and measurements. *FHNW/IME.* ;p. 2–13.
- [69] **Jerome SC, Baca MK, Skousen TJ.**, (2013). The Derivation of Maximum Predicted Environments for Externally Carried Stores from a Small Number of Flight Tests, 84th Shock and Vibration Symposium, Atlanta-Georgia.
- [70] **Kaplan EM, Özer MB.**, (2017). Experimental Investigation of Flight and Physical Parameters Affecting the Vibration Response Severity of Subsystem Carried by Jet Aircraft, 9th Ankara International Aerospace Conference, Ankara-Türkiye.
- [71] **Kartman A.**, (1970). Emprical Prediction of Missile Flight Random Vibrations. *Shock and Vibration Bulletin.* ;41(4).
- [72] **Dreher JF.**, (1983). Aircraft equipment random vibration test criteria based on vibrations induced by turbulent airflow across aircraft external surfaces. Air Force Flight Dynamics Lab Wright- Patterson AFB Oh.
- [73] **Cap J.S., C De Baca M.K., Skousen T.J.**, (2014). The Derivation of Maximum Predicted Environments for Externally Carried Stores using a Small Number of Flight Tests. Sandia National Lab.(SNL-NM), Albuquerque, NM (United States).
- [74] **Wafford J, Haidl G, Lodge C, Zimmermann H, Payne B.**, (1979). Dynamic Environmental Qualification Techniques. Advisory Group for Aerospace Research and Development Neuilly-Sur-Seine (France).
- [75] **NATO Standardisation Agency (NSA)**, (2006) Allied Environmental Conditions and Test Publications, AECTP 200.
- [76] **Dansk Standard Association**, (2005). EN 485-2, Aluminum and Aluminum Alloys – Sheet, Strip and Plate – Part 2: Mechanical Properties.

- [77] **VR&D GENESIS**, (2010). Structural Analysis and Optimization Commercial Software, Vanderplaats Research & Development, Inc., Colorado-USA,.
- [78] **MSC PATRAN**, (2018). Finite Element Preprocessor, MSC Software Cooperation, California-USA.
- [79] **MSC NASTRAN**, (2018). Finite Element Solver, MSC Software Cooperation, California-USA.



EKLER

EK 1: Test Noktaları

EK 2: Eğitim Noktalarında İvmeölçer ve Tolerans Limiti İGSY Grafikleri

EK 3: Eğitim Noktalarında Tolerans Limiti Test Spektrumları Sonuçları

EK 4: Test Noktalarında İvmeölçer ve Tolerans Limiti İGSY Grafikleri

EK 5: Test Noktalarında Tolerans Limiti Test Spektrumları Sonuçları

EK 6: Test Noktalarında YSA Tahmini ve Deneysel Sonuçların Karşılaştırması

EK 7: Test Noktalarında YSA Tahmini Test Spektrumları Sonuçları

EK 8: Test Noktalarında Askeri Şartname ile Diğer Sonuçların Karşılaştırması

EK 9: Kaynak Kodları

EK 10: Bilgisayar Özellikleri

EK 1

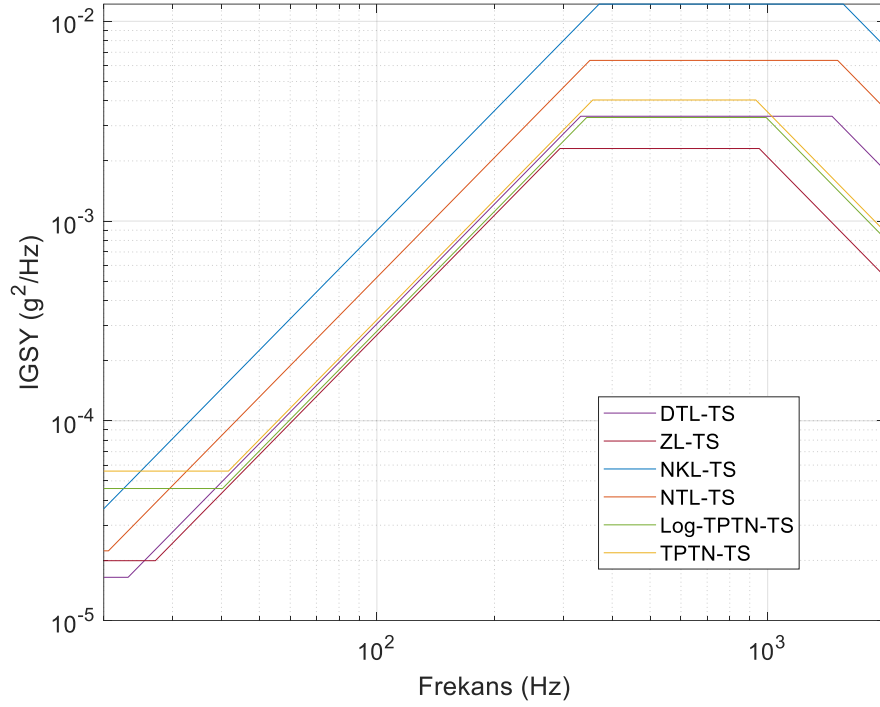
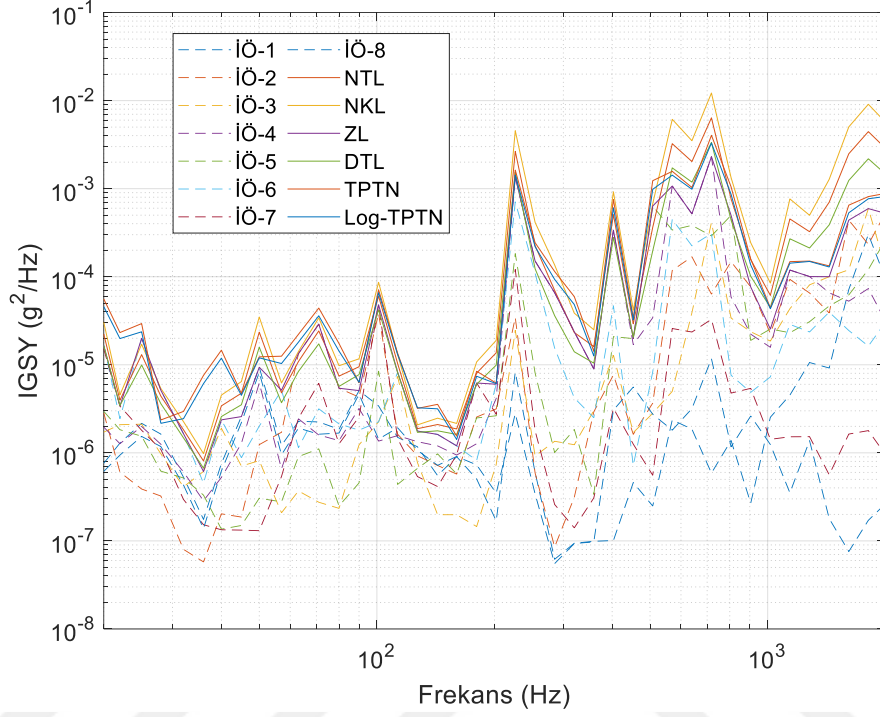
Test noktaları Çizelge Ek. 1'de verilmiştir.

Çizelge Ek. 1 : Test noktalarında uçuş parametreleri.

No	Mach sayısı	Uçuş irtifası (ft)
1	0.568	13090
2	0.835	12475
3	0.699	20138
4	0.705	31600
5	0.6	13573
6	0.789	14550
7	0.618	24960
8	0.743	24960

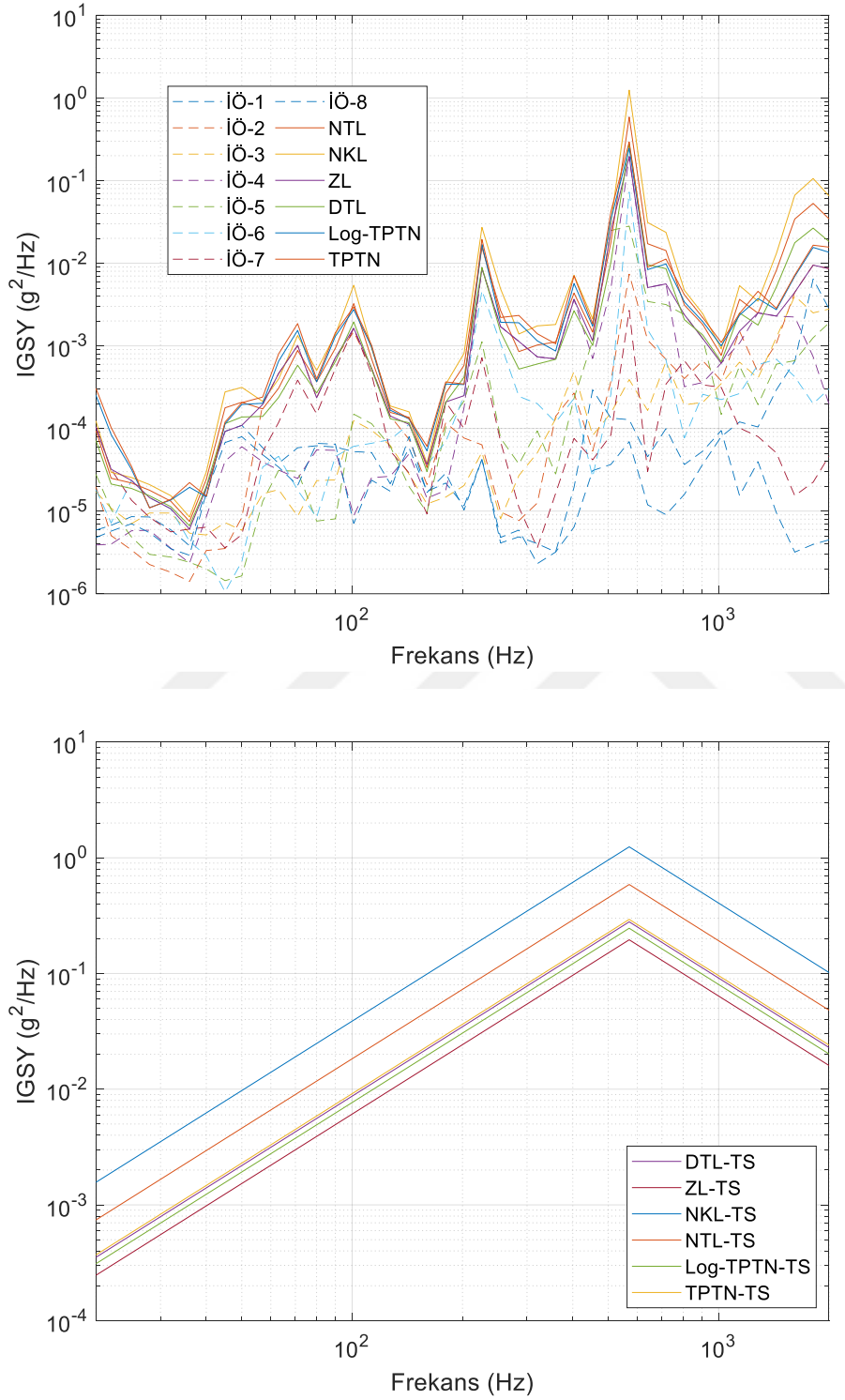
EK 2

Durum 2 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 1'de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



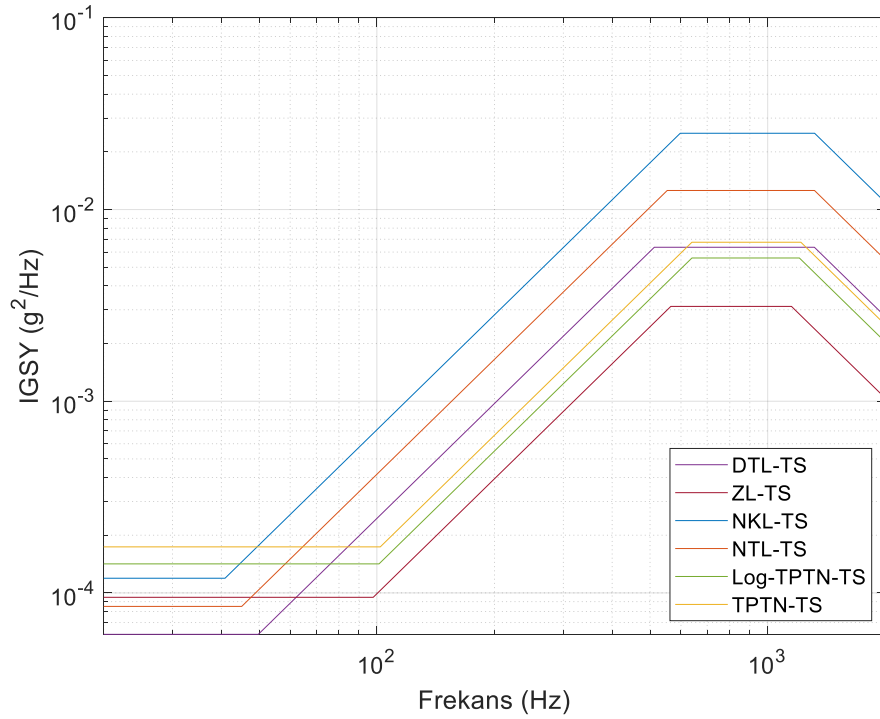
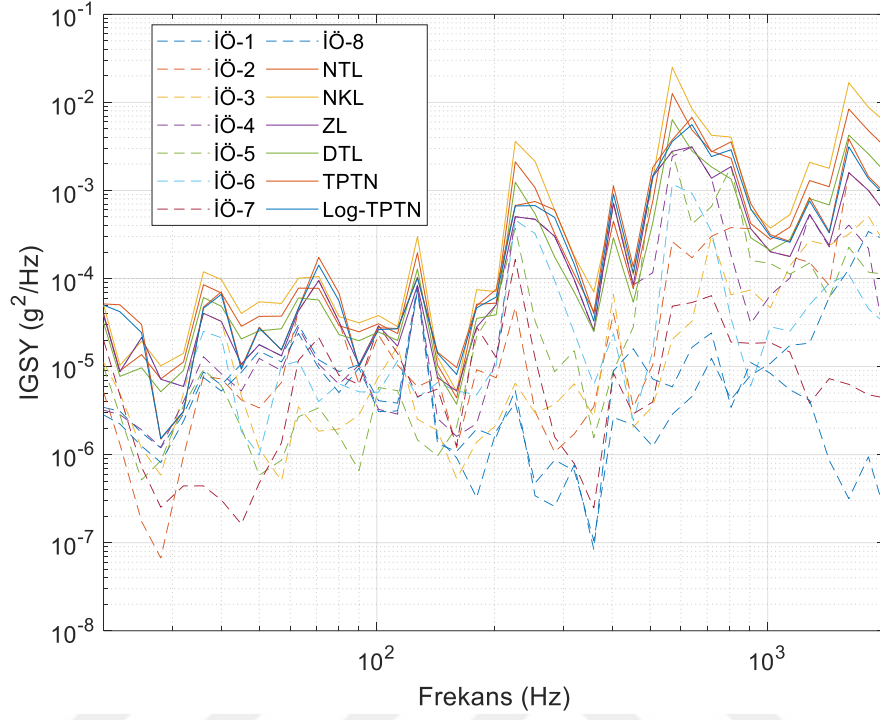
Şekil Ek. 1 : Durum 2 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 3 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 2'de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



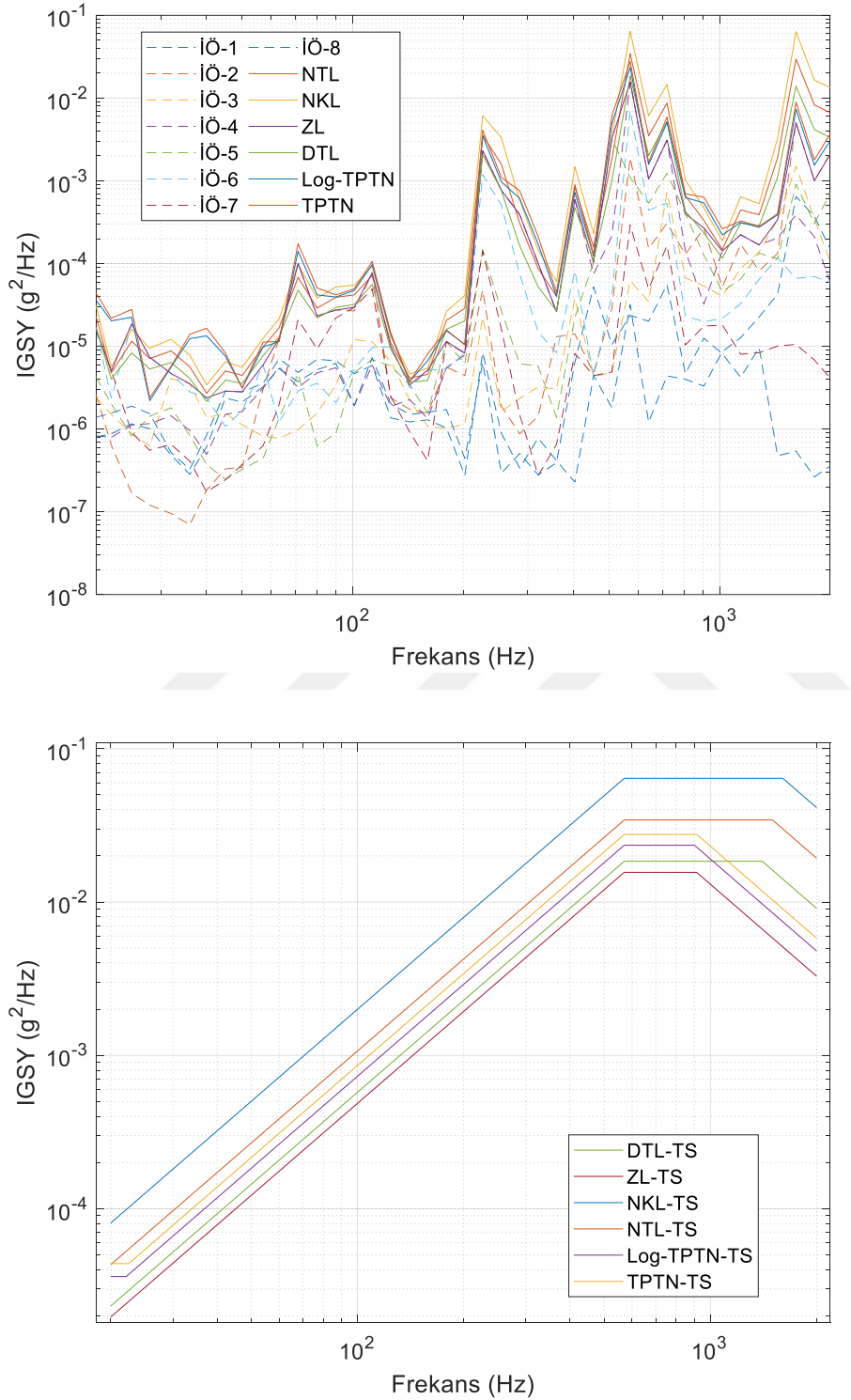
Şekil Ek. 2 : Durum 3 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 4 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 3'te üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



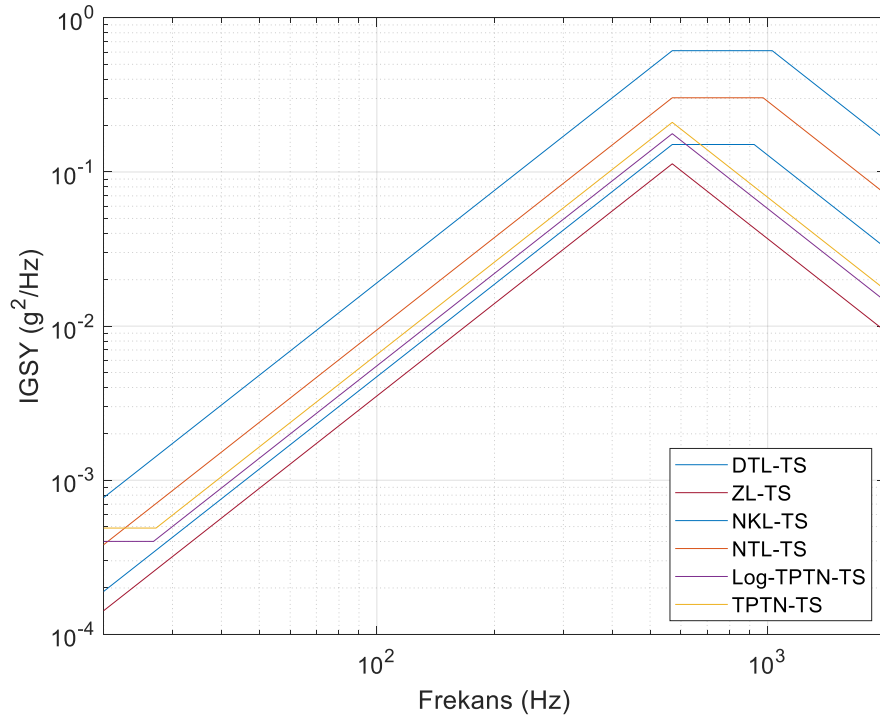
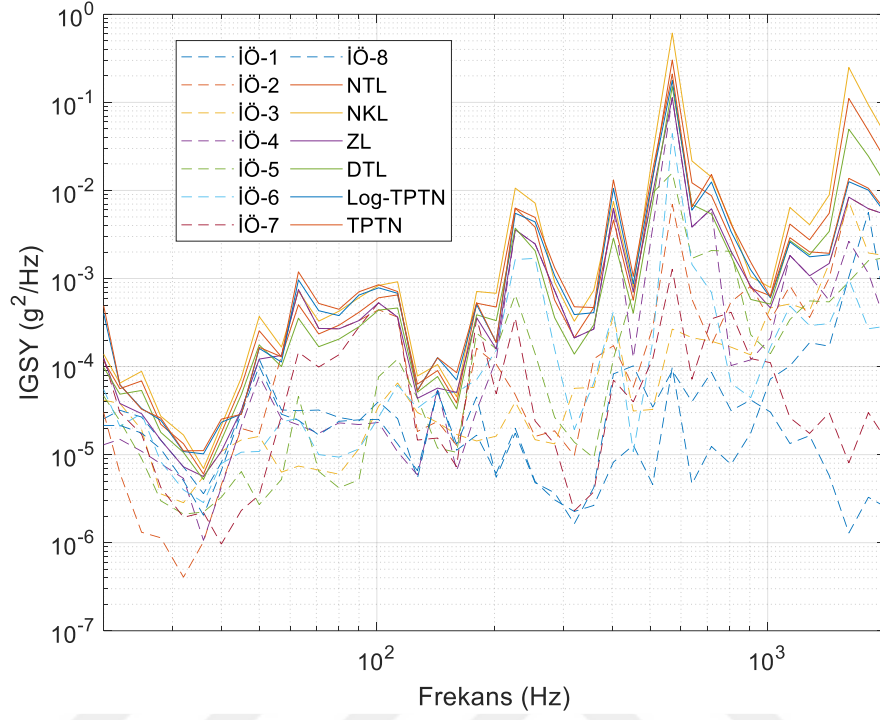
Şekil Ek. 3 : Durum 4 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 5 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 4'te üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



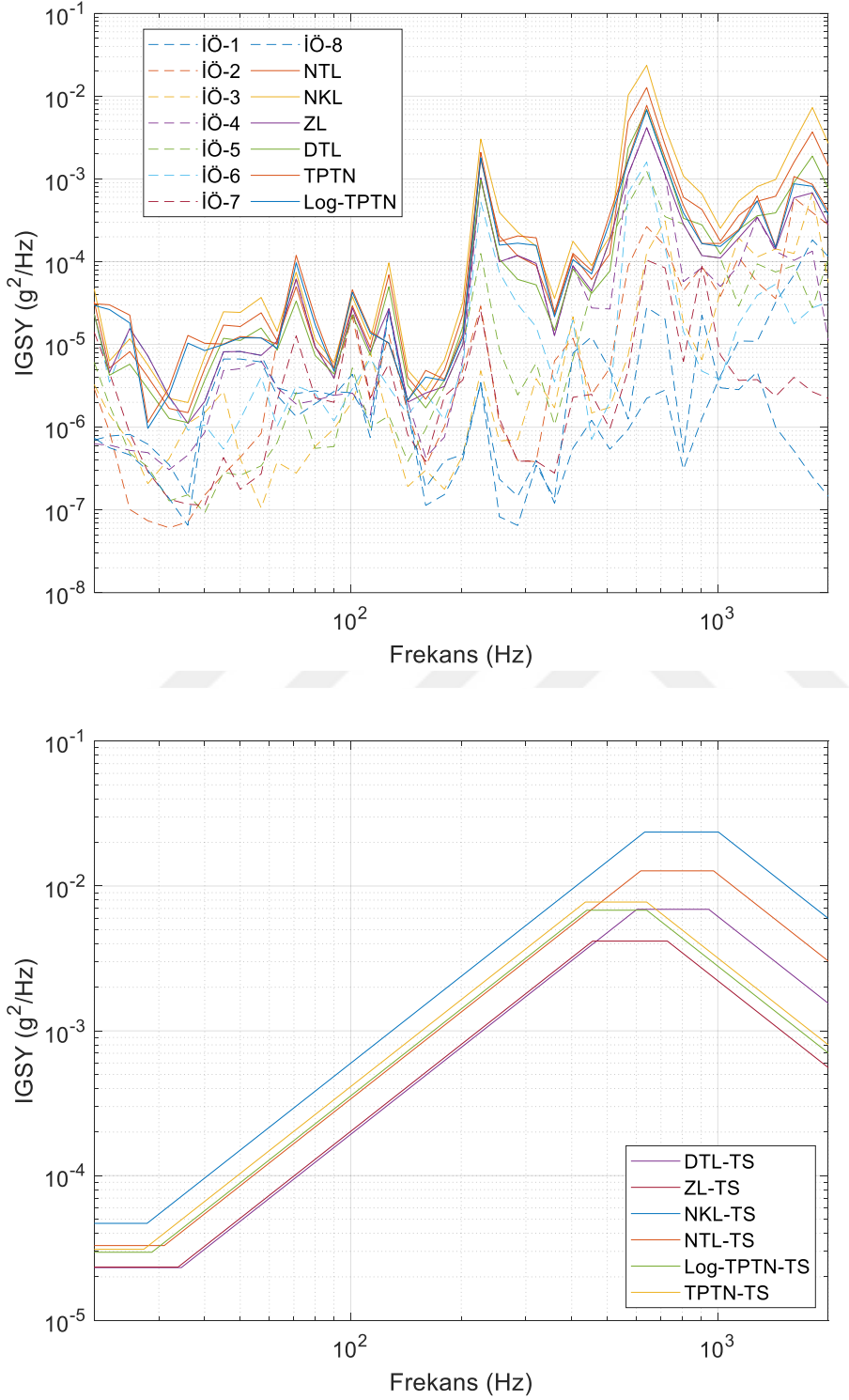
Şekil Ek. 4 : Durum 5 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 6 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 5'te üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



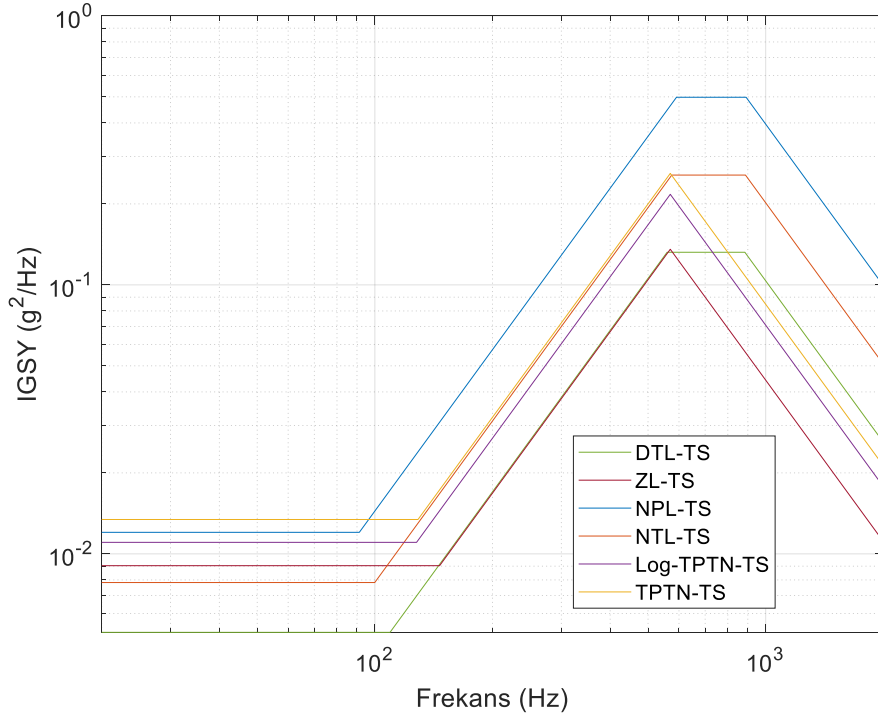
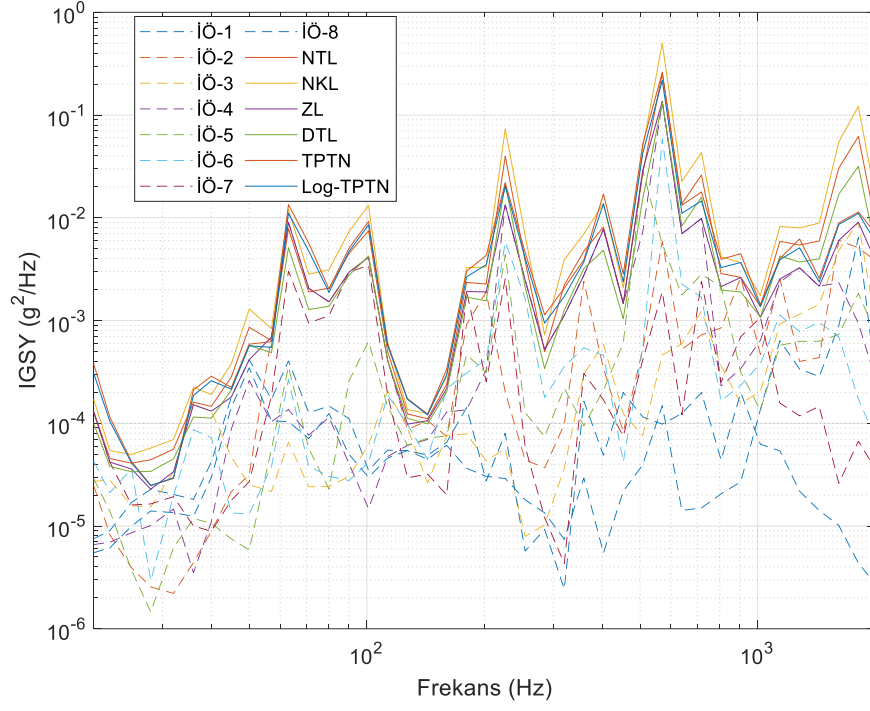
Şekil Ek. 5 : Durum 6 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 7 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 6'da üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



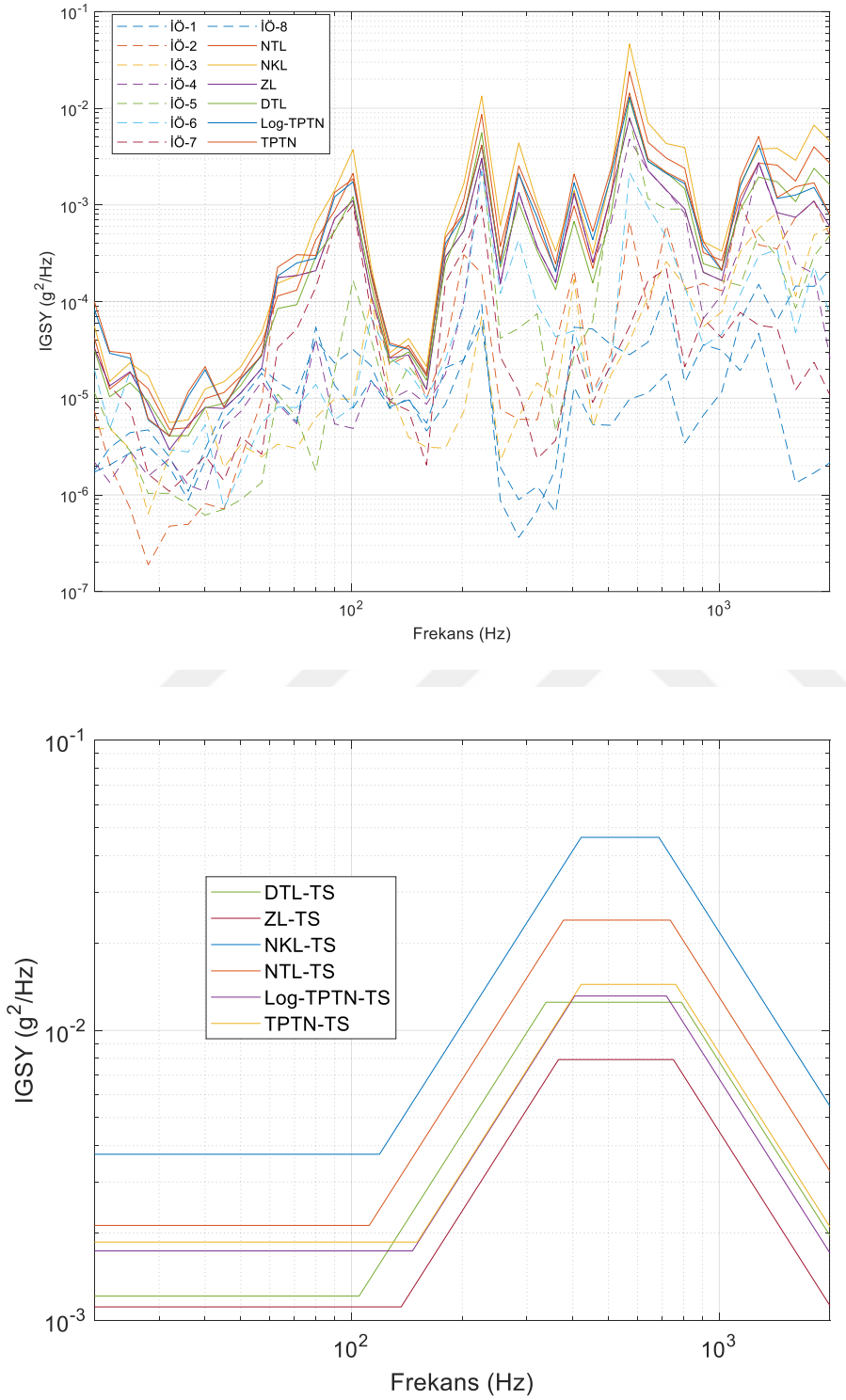
Şekil Ek. 6 : Durum 7 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 8 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 7'de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



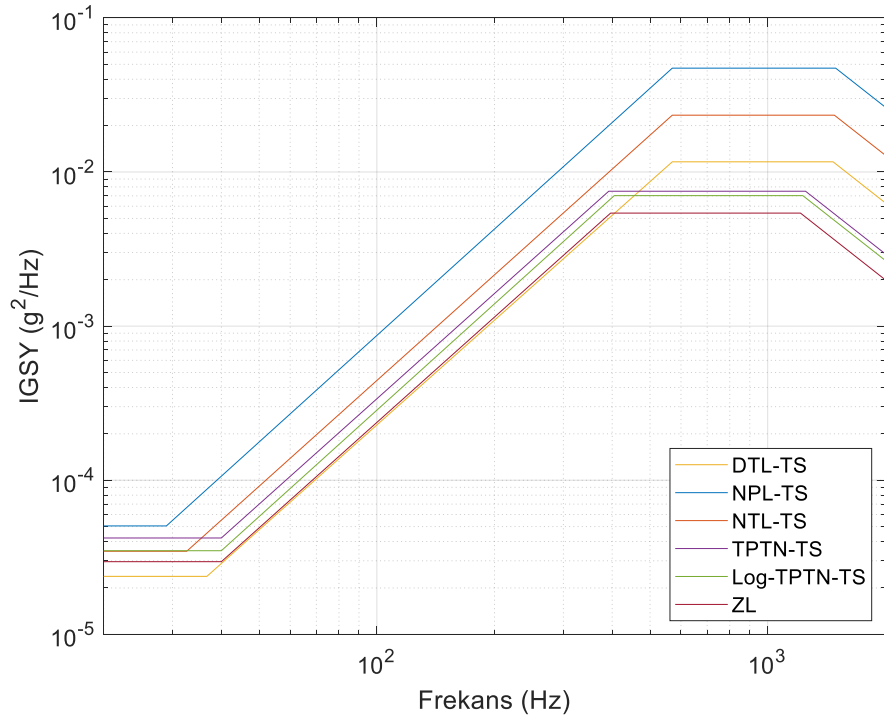
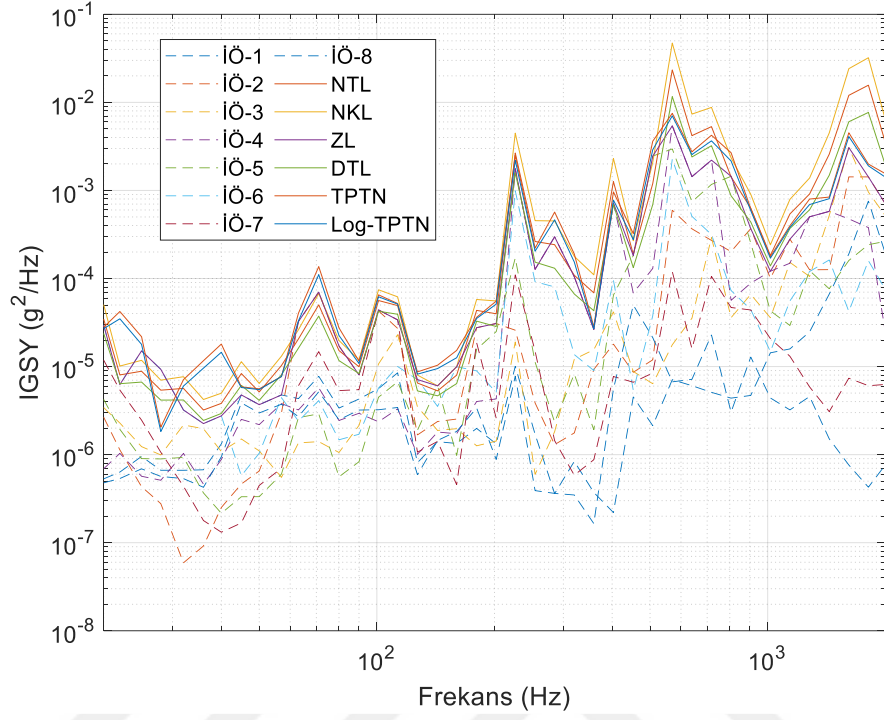
Şekil Ek. 7 : Durum 8 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 9 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 8'de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



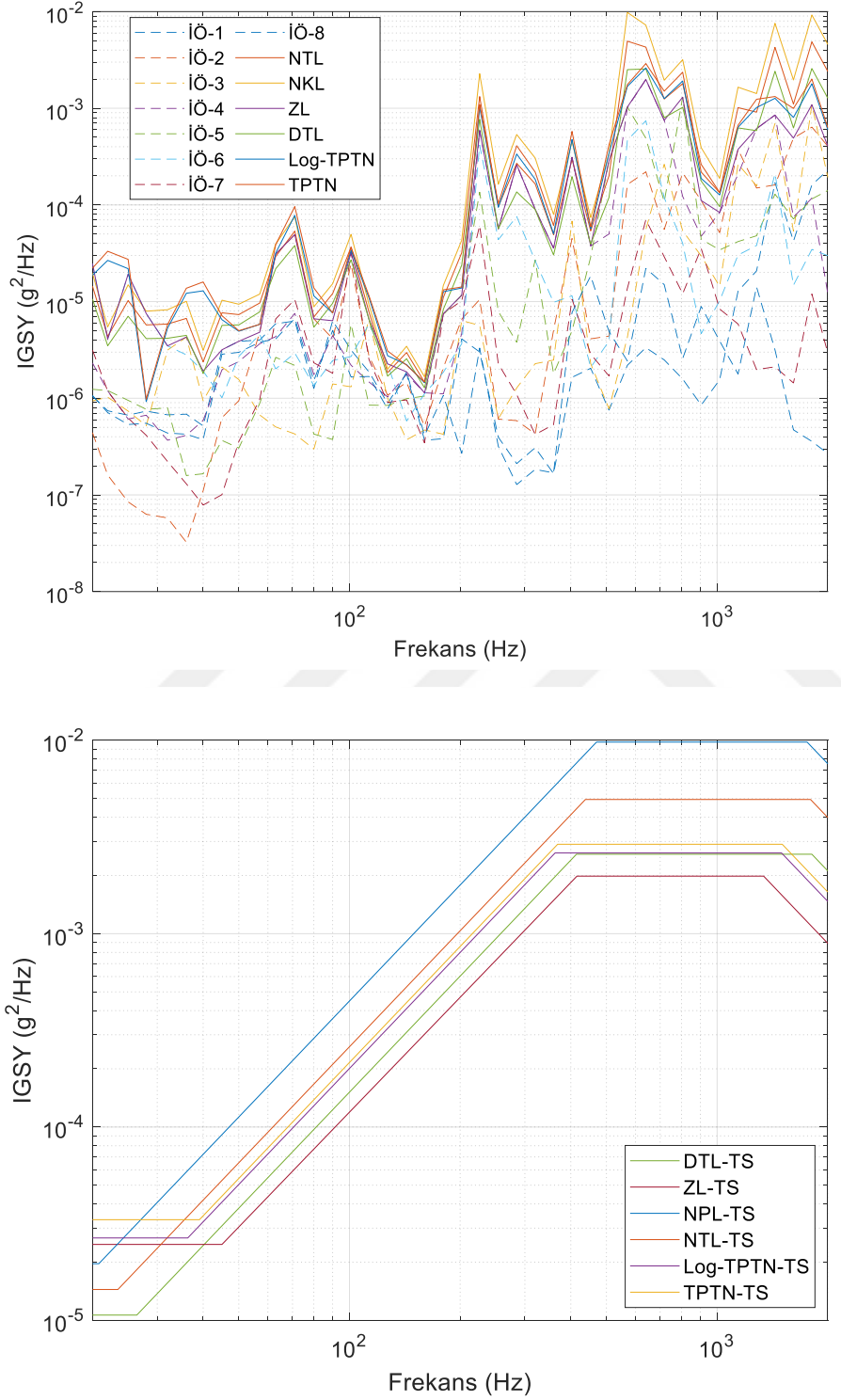
Şekil Ek. 8 : Durum 9 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 10 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 9'da üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



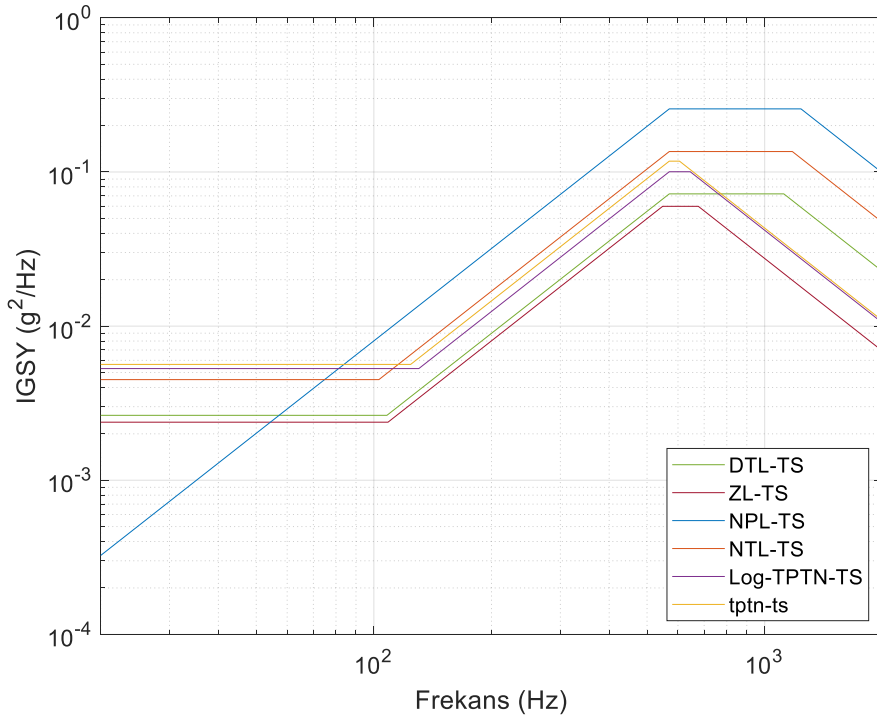
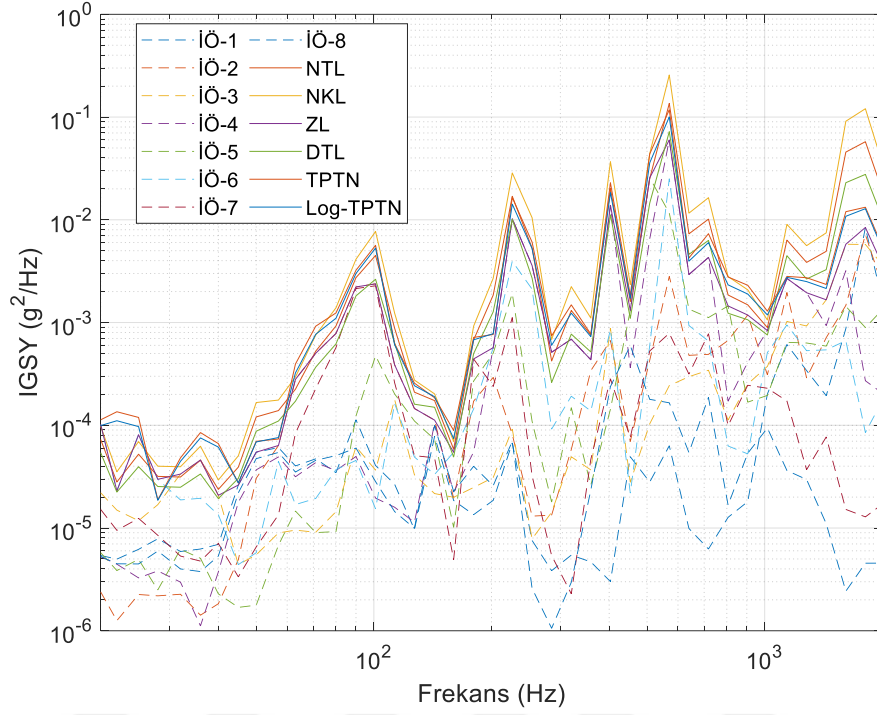
Şekil Ek. 9 : Durum 10 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 11 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 10'da üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



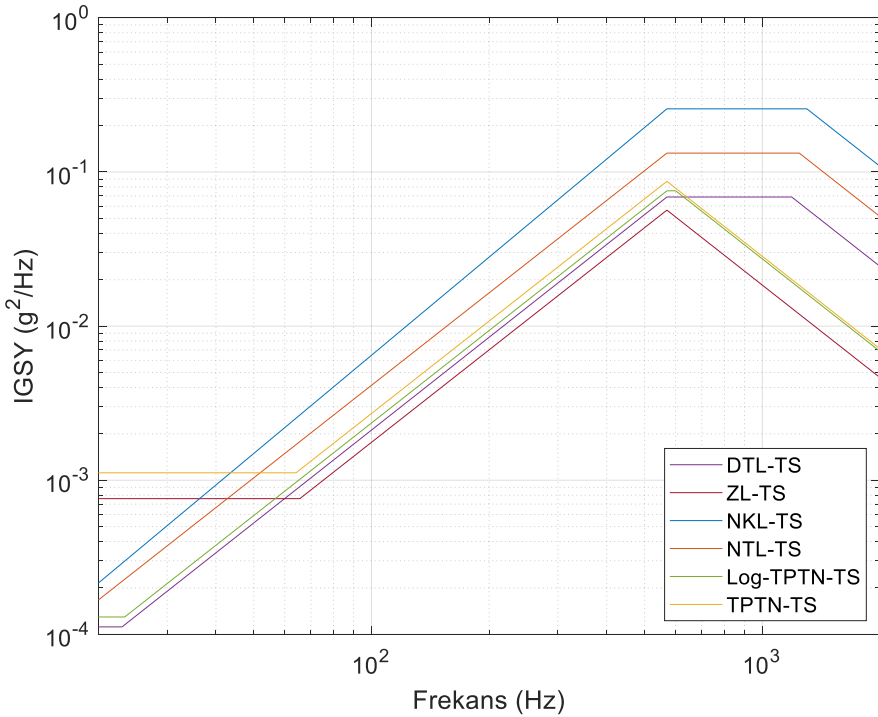
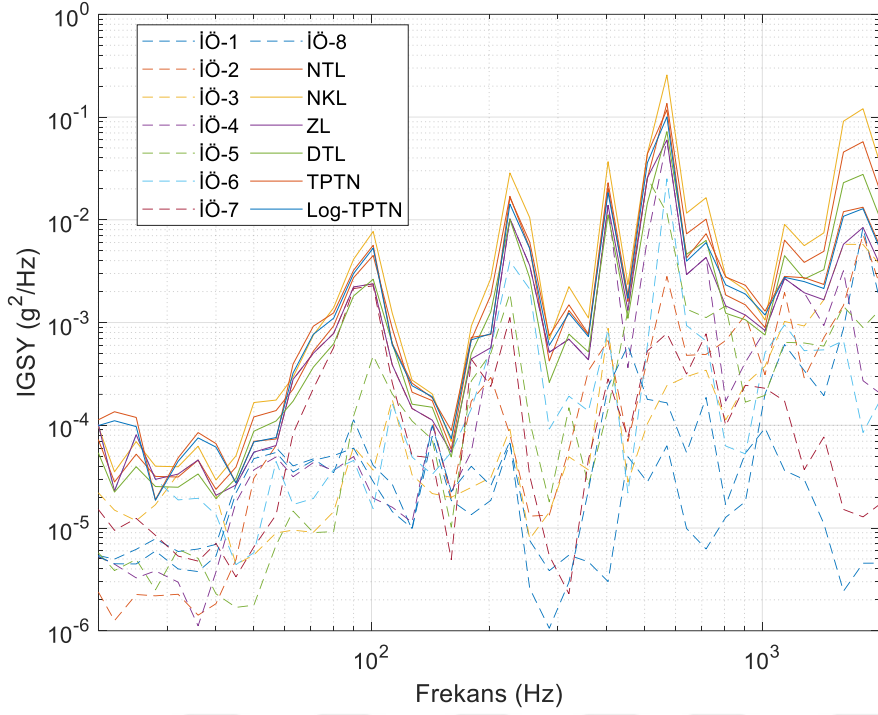
Şekil Ek. 10 : Durum 11 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 12 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 11’de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



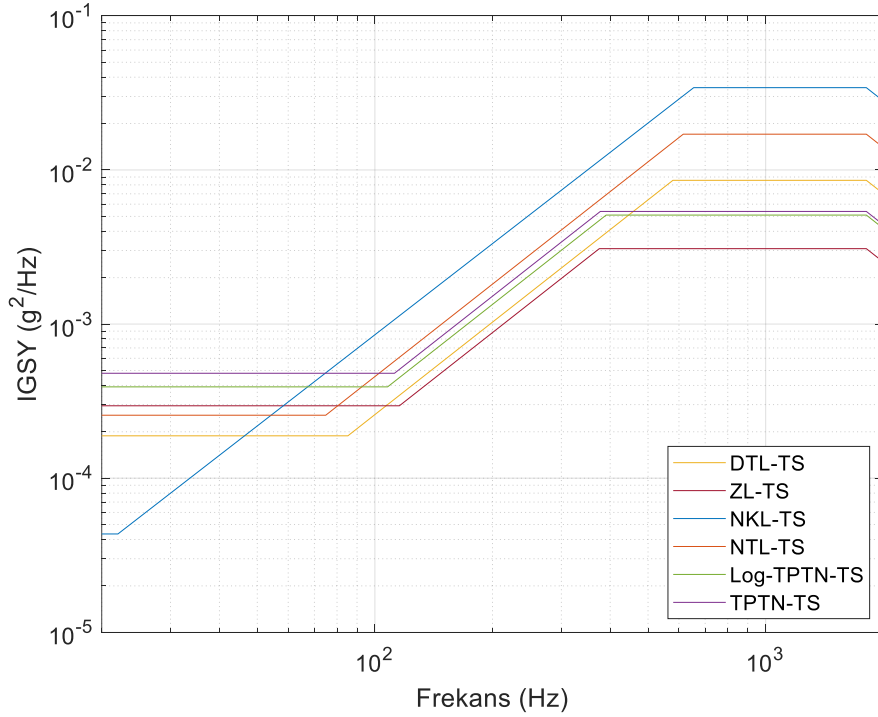
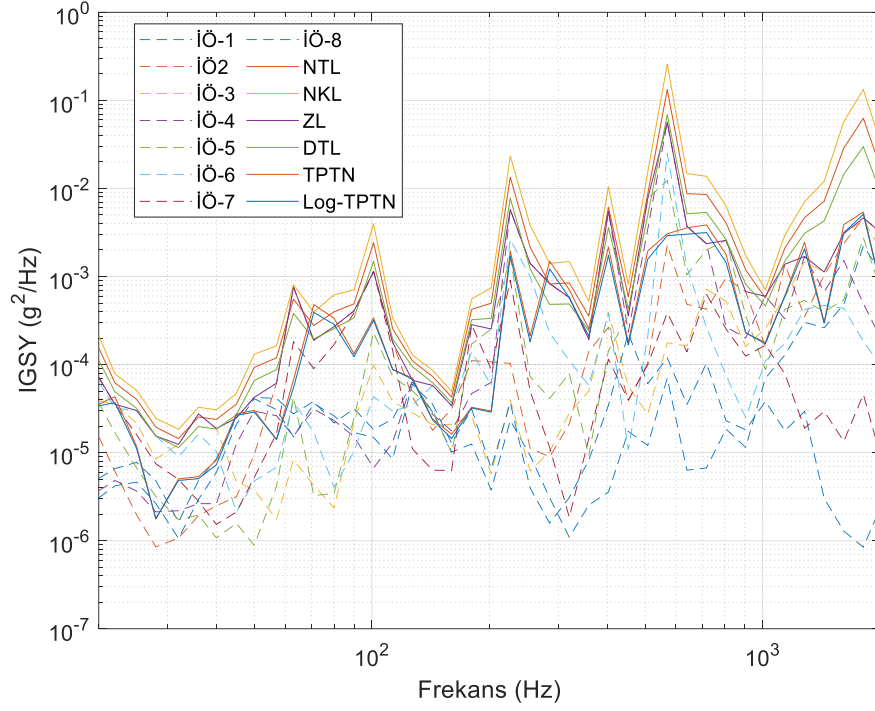
Şekil Ek. 11 : Durum 12 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 13 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 12'de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



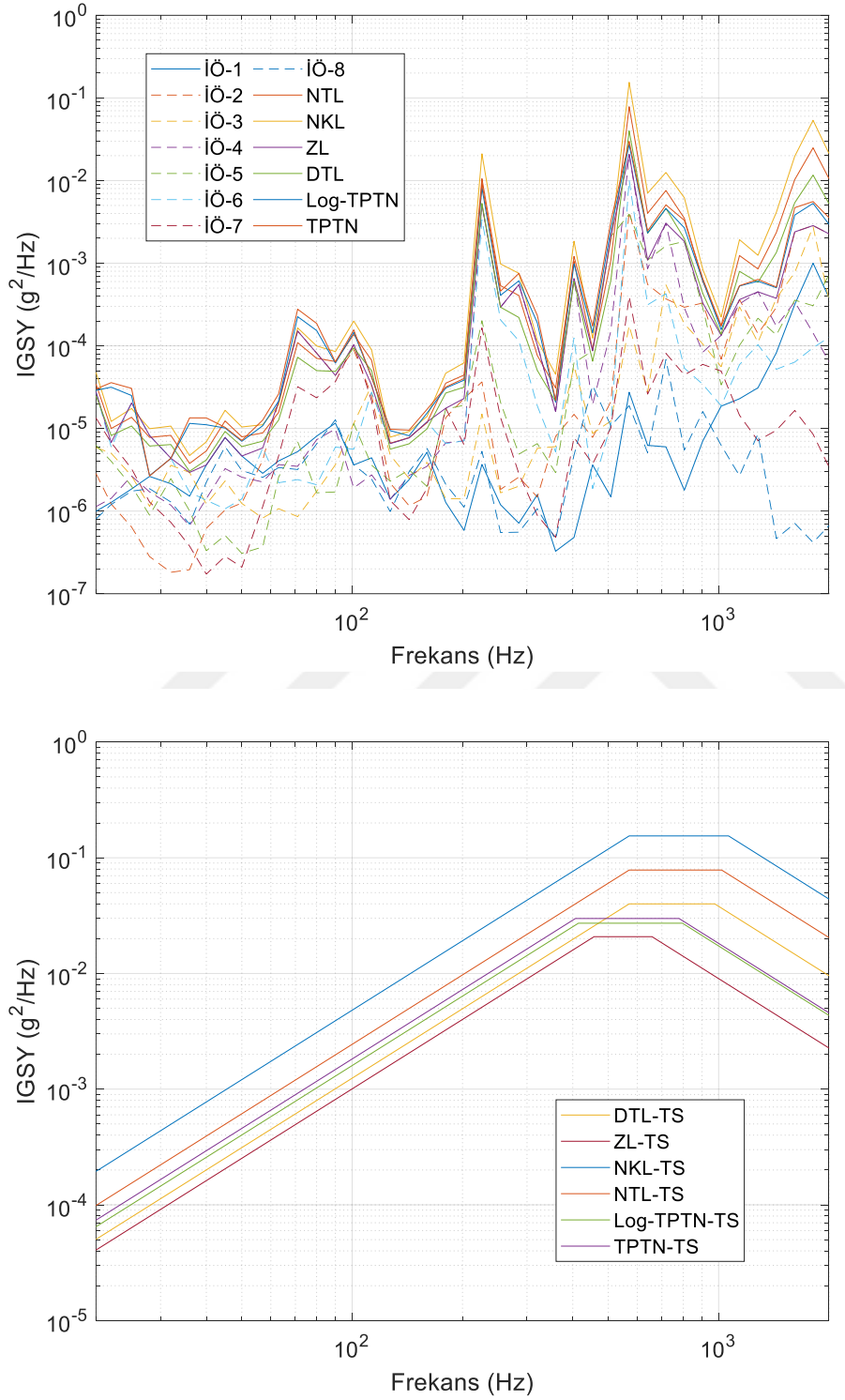
Şekil Ek. 12 : Durum 13 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 14 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 13'te üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



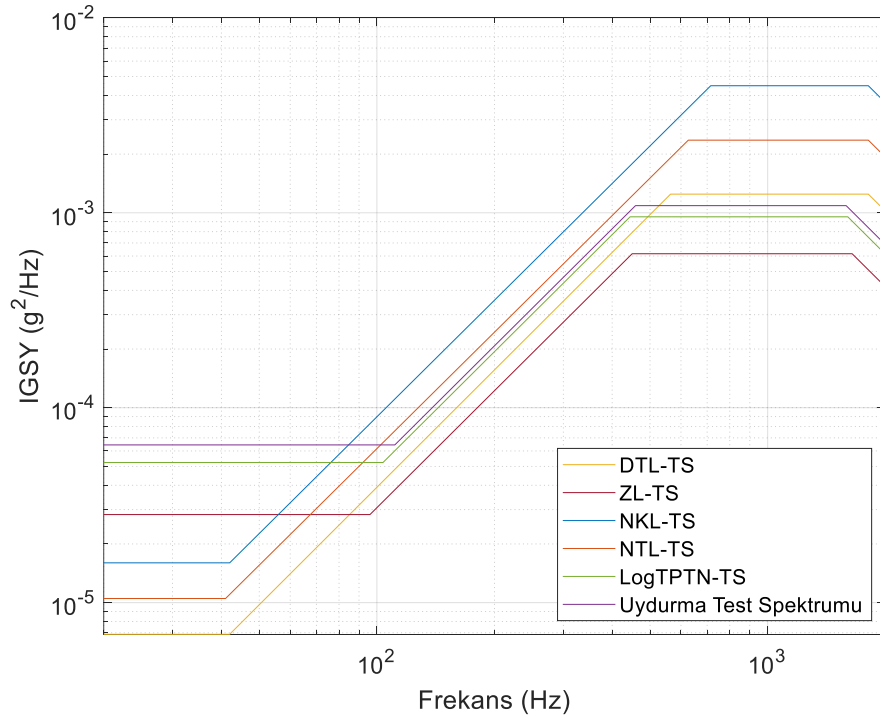
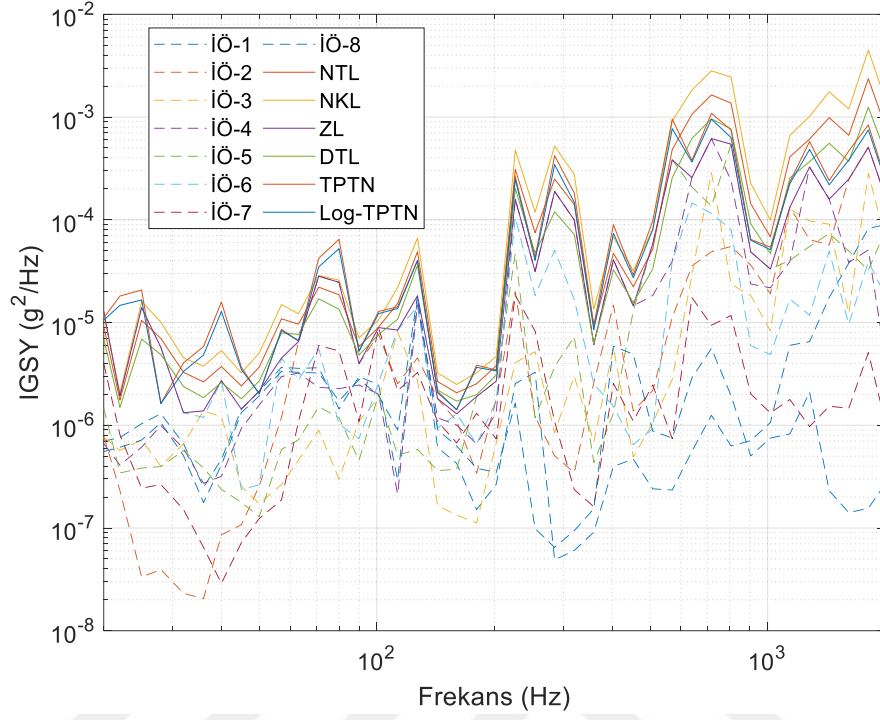
Şekil Ek. 13 : Durum 14 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 15 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 14'te üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



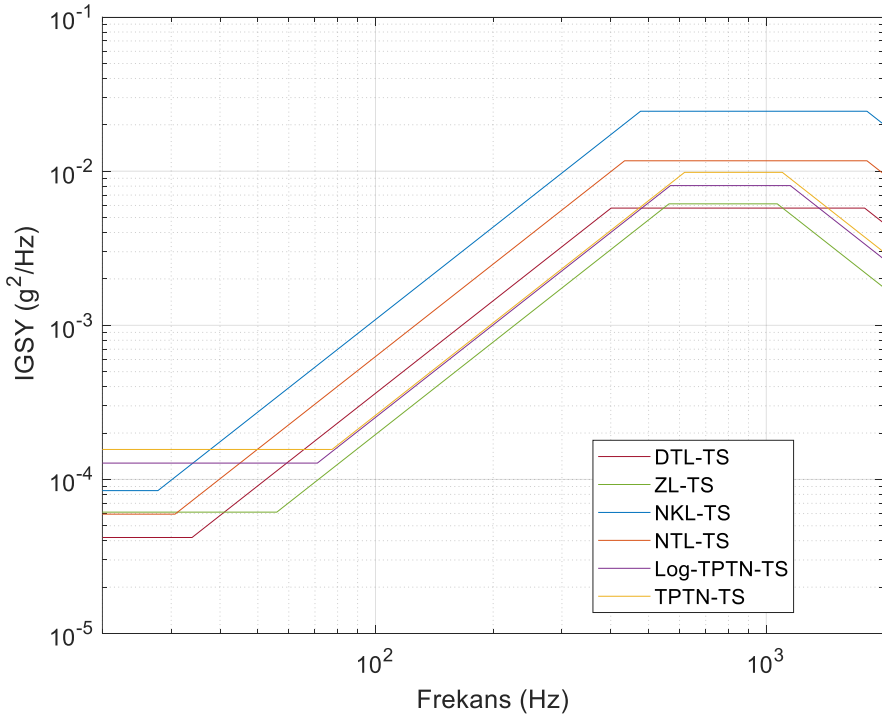
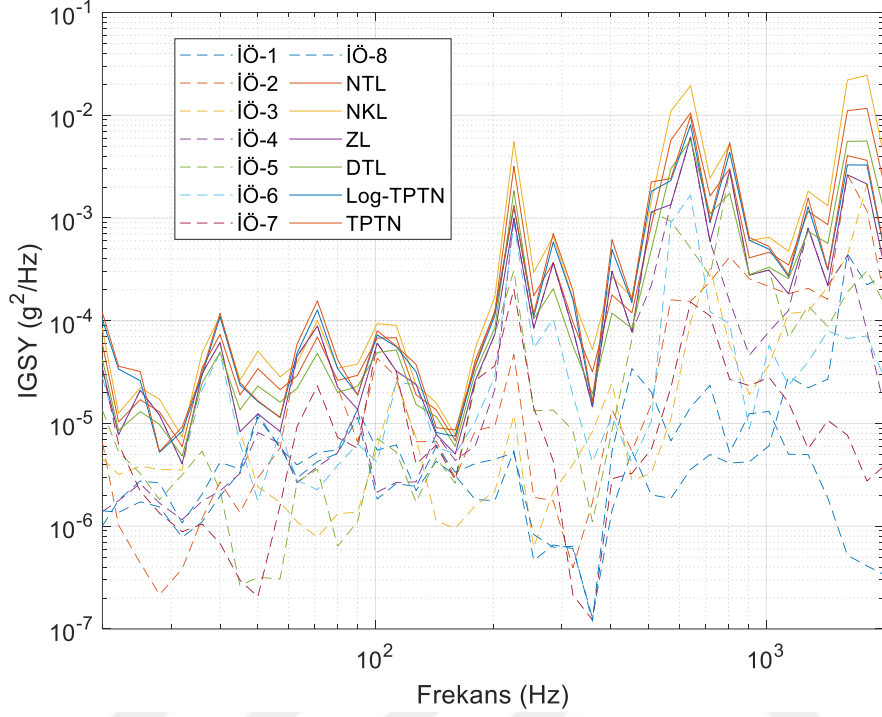
Şekil Ek. 14 : Durum 15 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 16 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 15'te üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



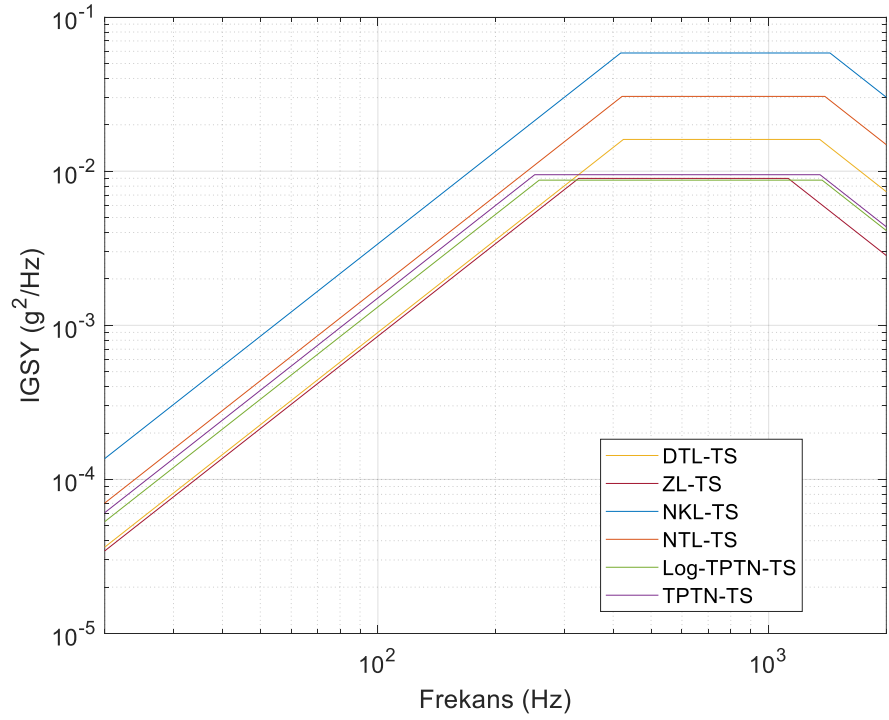
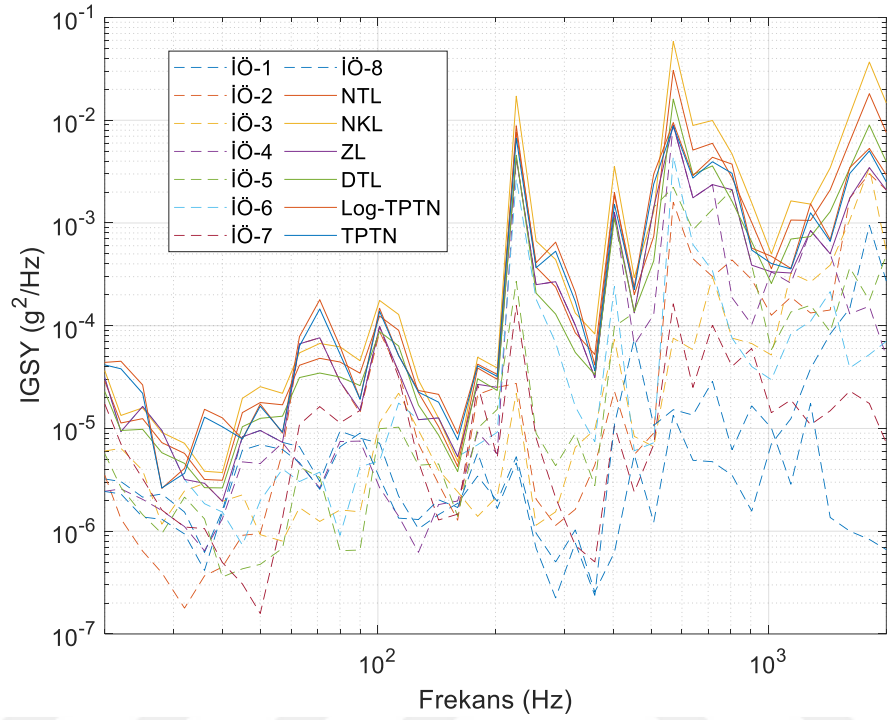
Şekil Ek. 15 : Durum 16 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 17 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 16'da üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



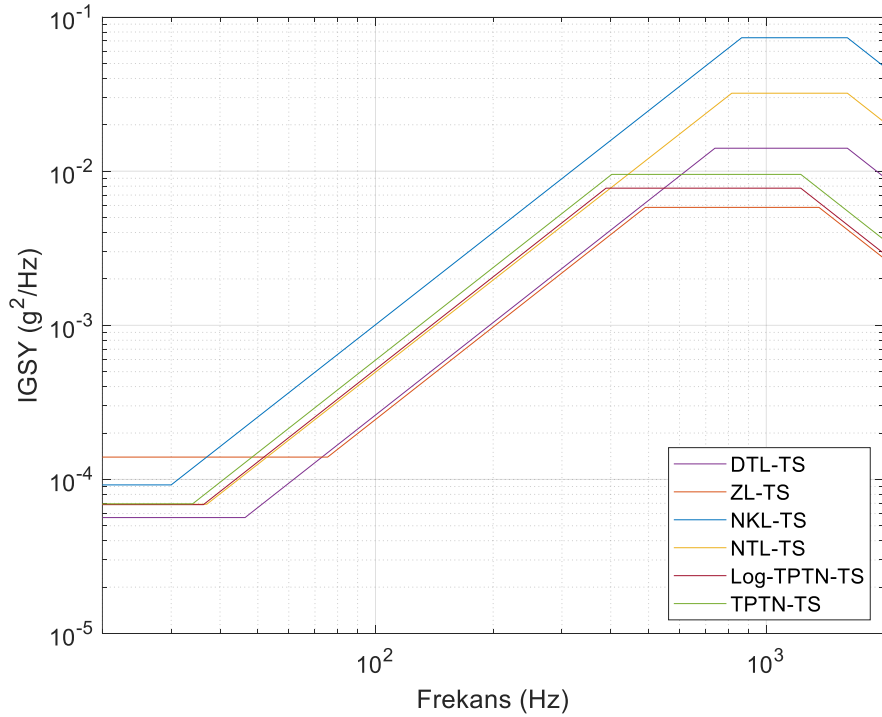
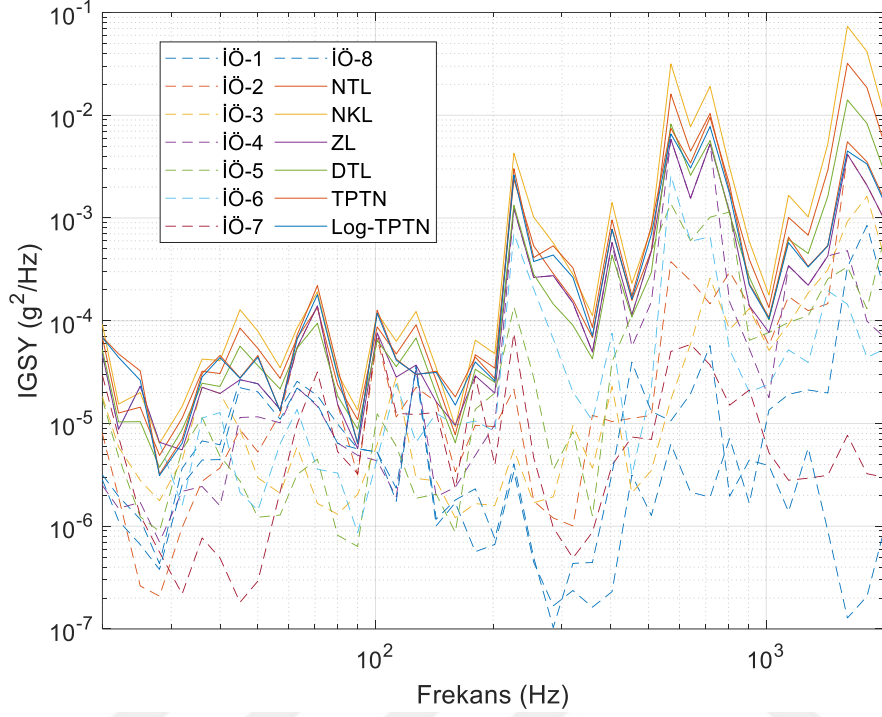
Şekil Ek. 16 : Durum 17 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 18 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 17’de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



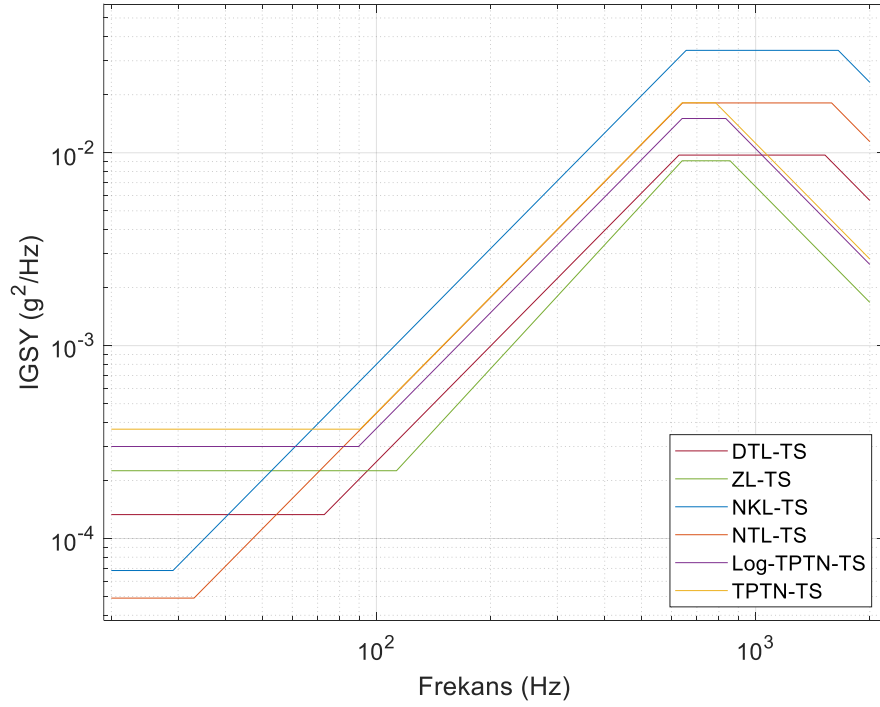
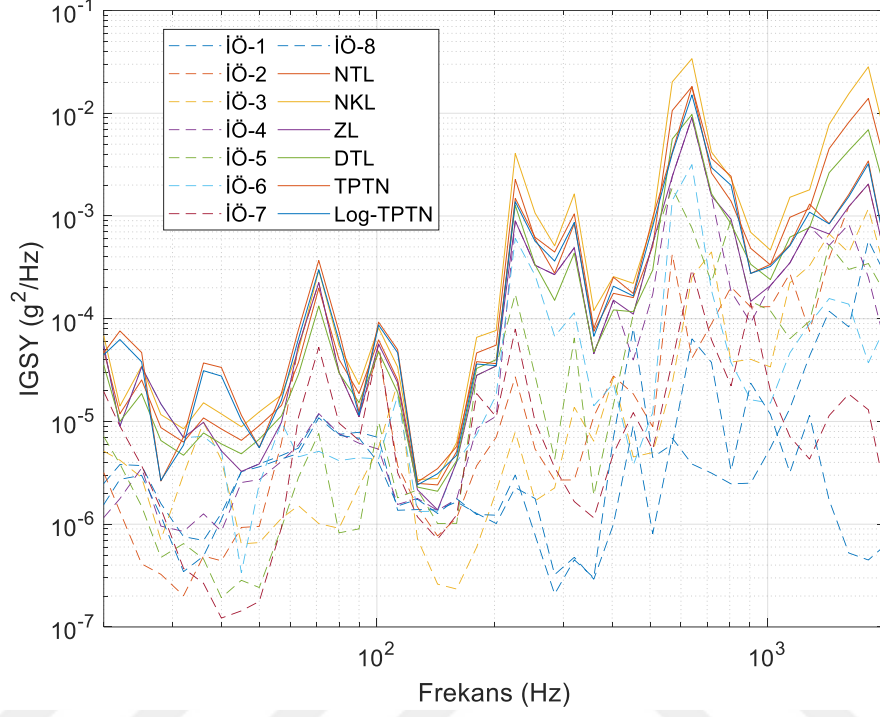
Şekil Ek. 17 : Durum 18 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 19 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 18’de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



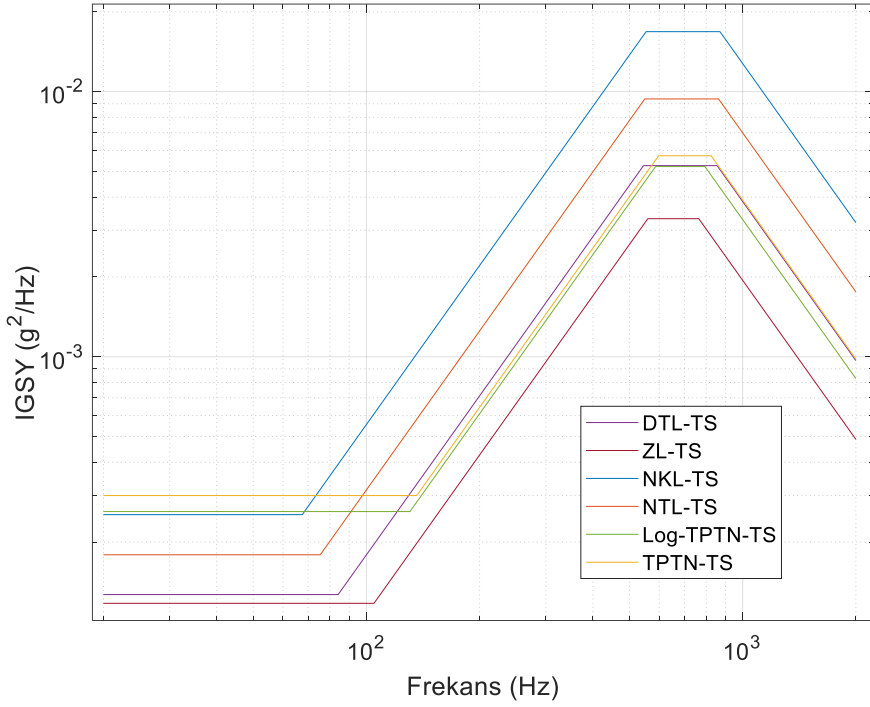
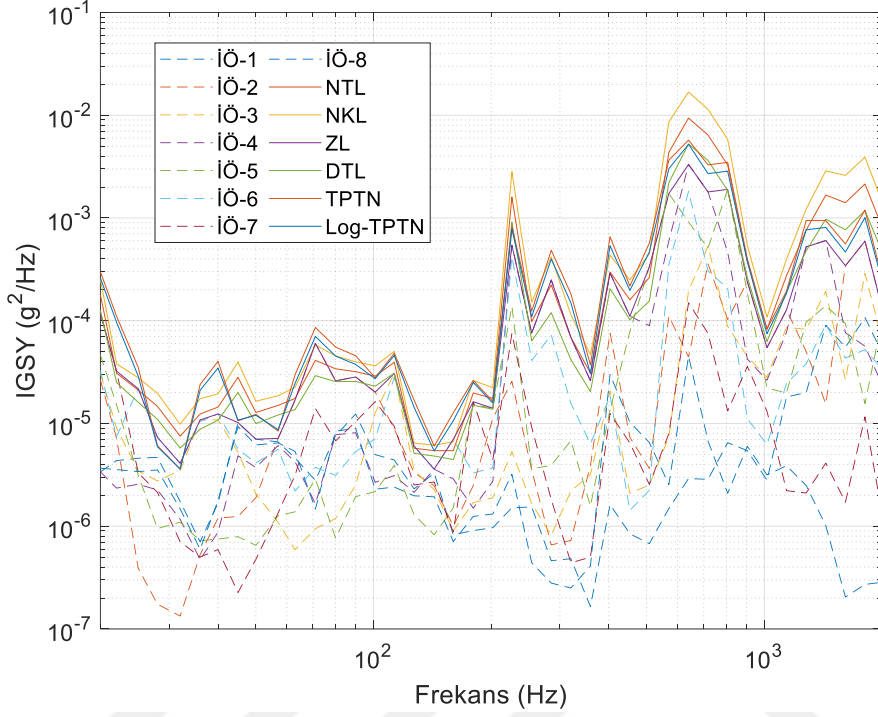
Şekil Ek. 18 : Durum 19 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 20 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 19'da üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



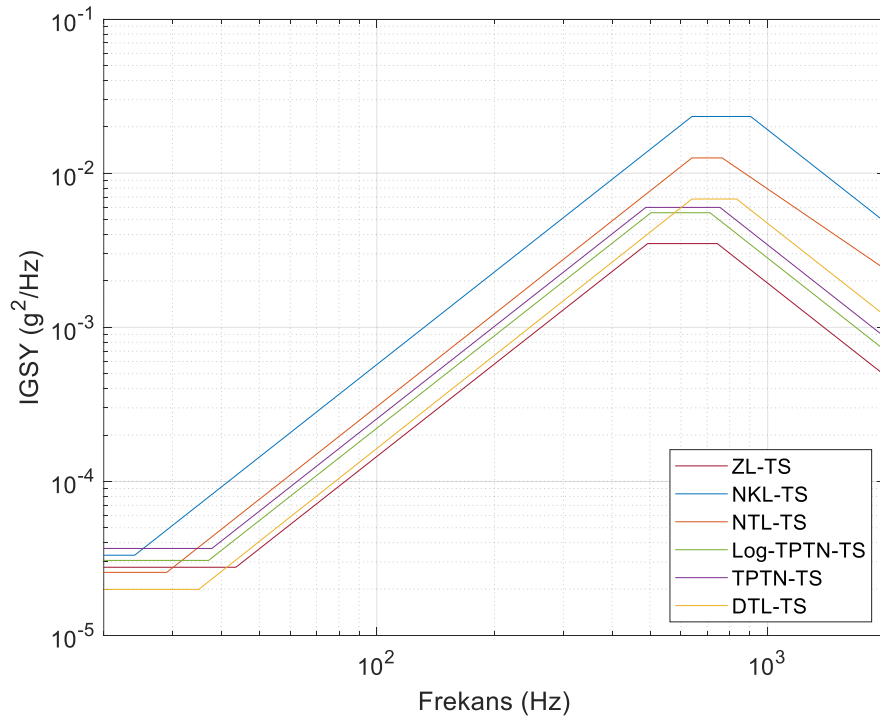
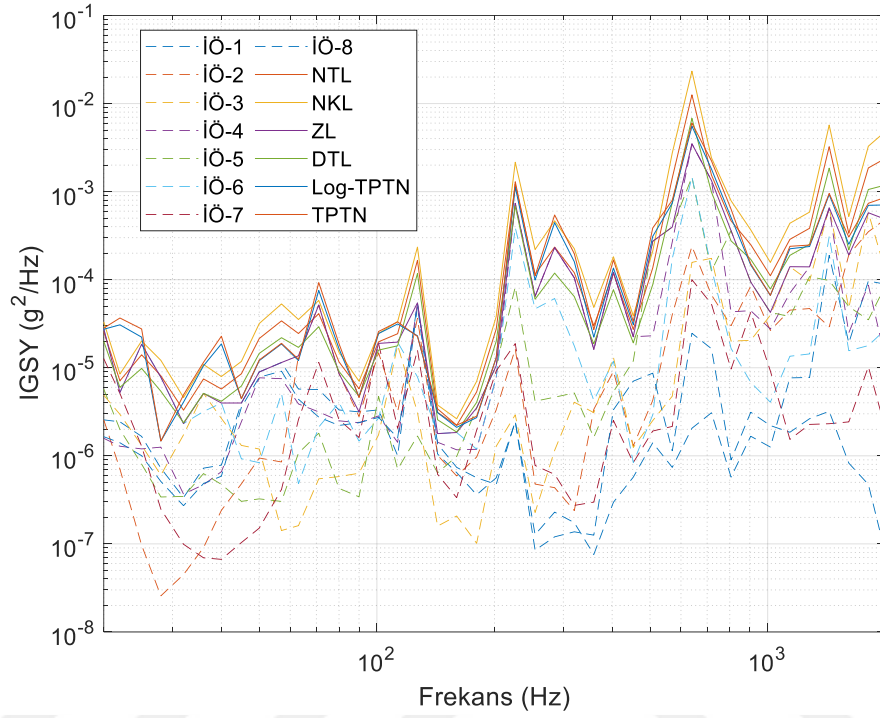
Şekil Ek. 19 : Durum 20 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 21 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 20'de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



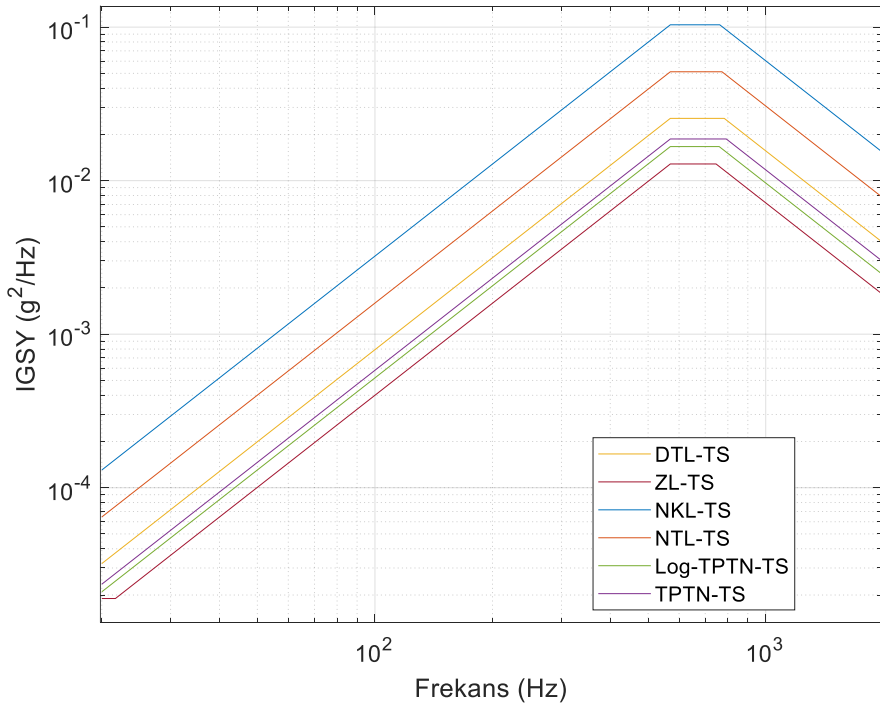
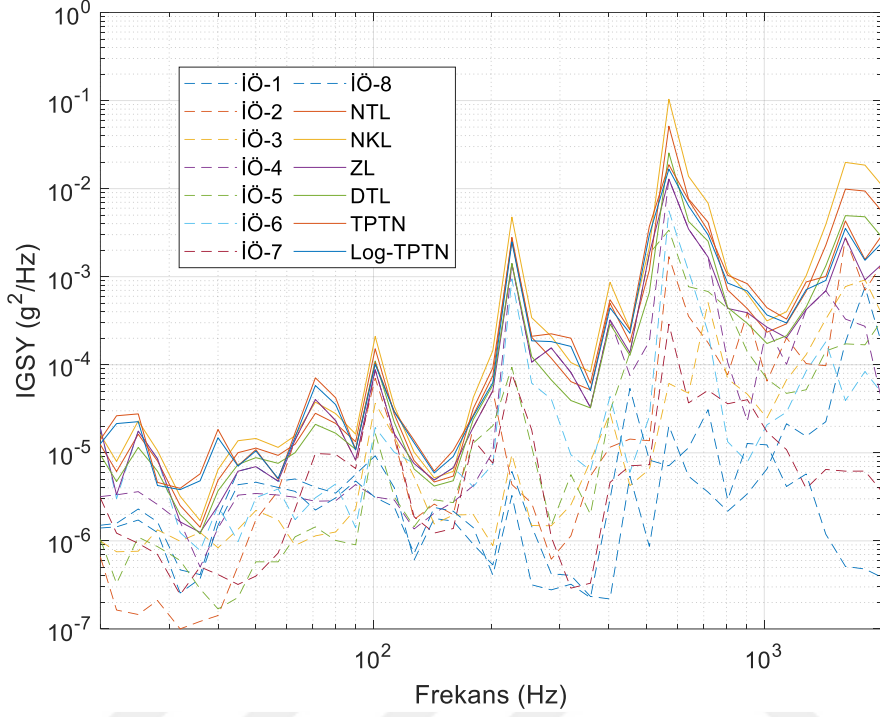
Şekil Ek. 20 : Durum 21 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 22 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 21’de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



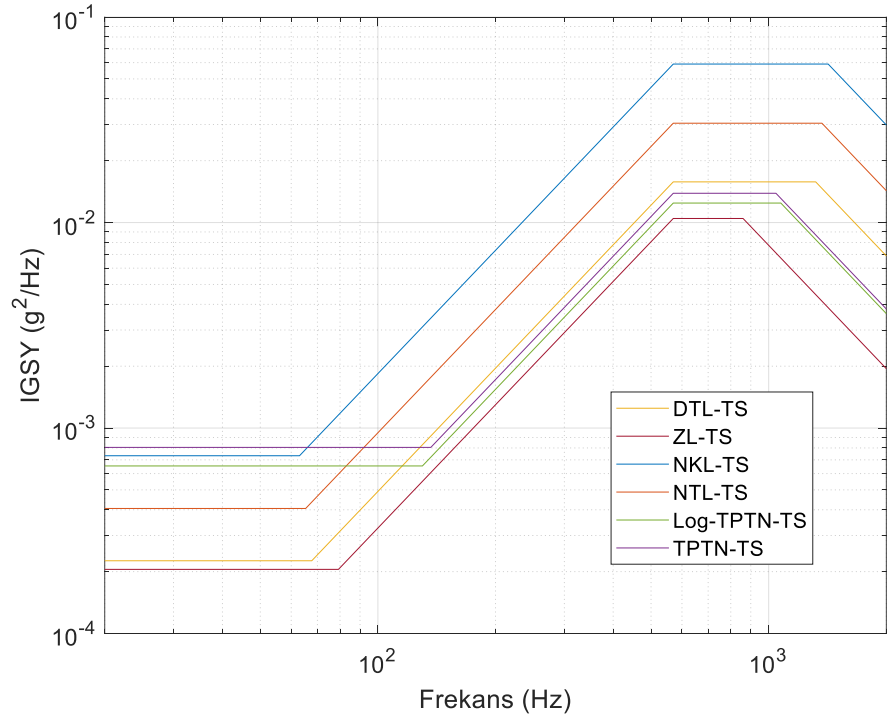
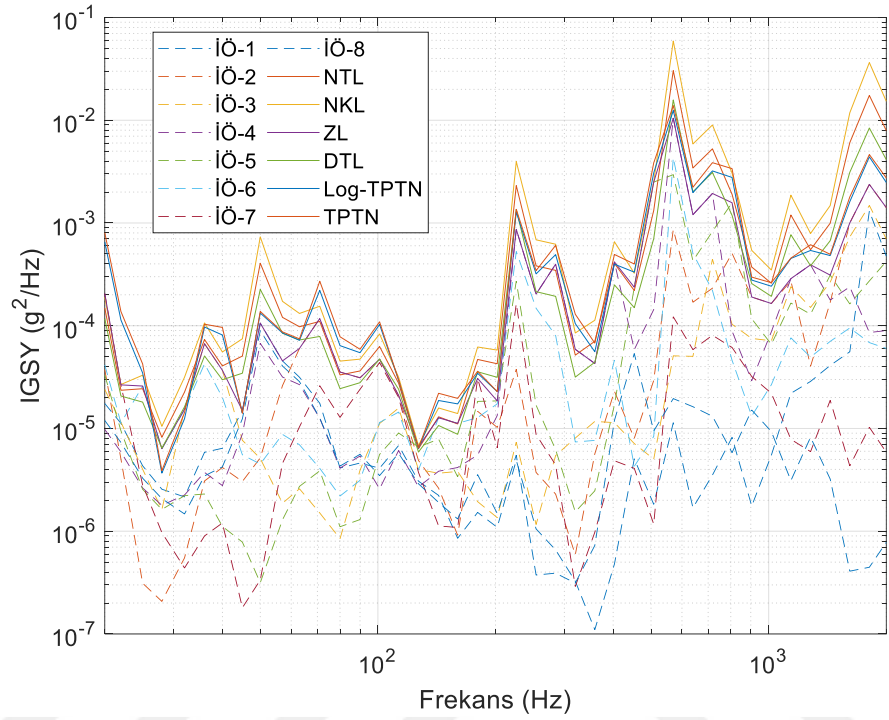
Şekil Ek. 21 : Durum 22 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 23 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 22'de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



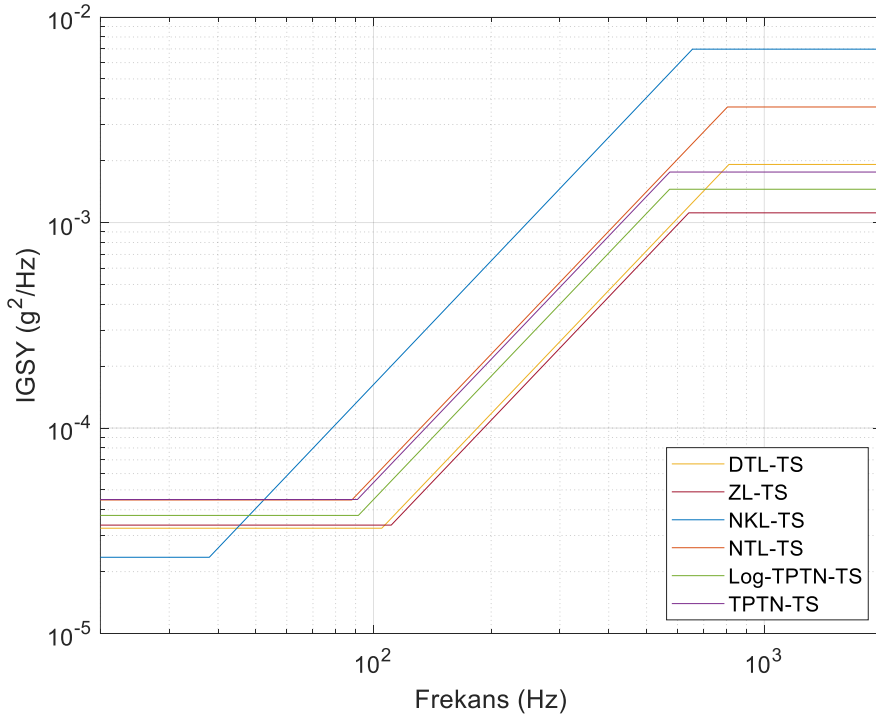
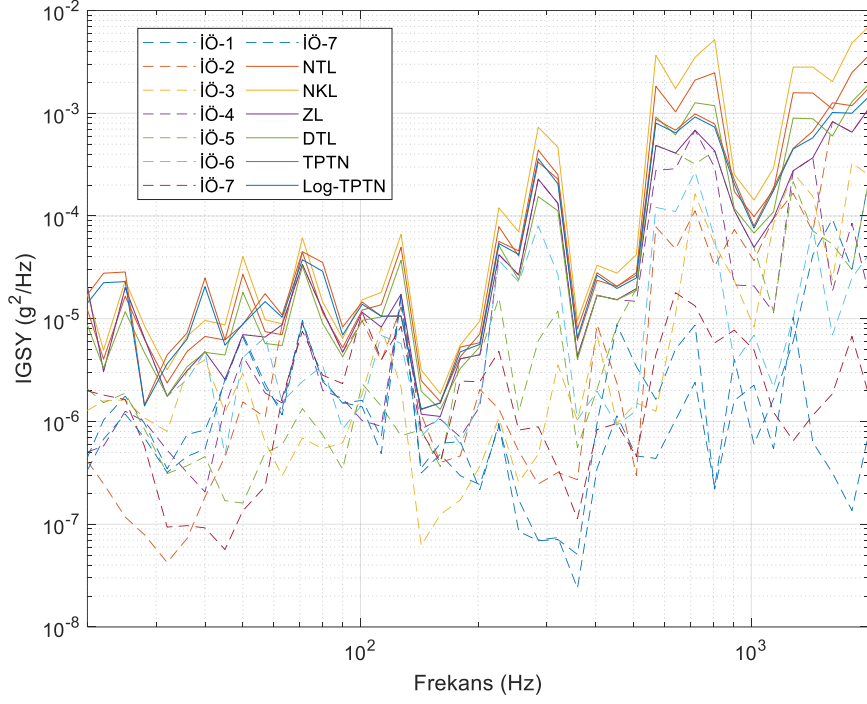
Şekil Ek. 22 : Durum 23 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 24 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 23'te üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



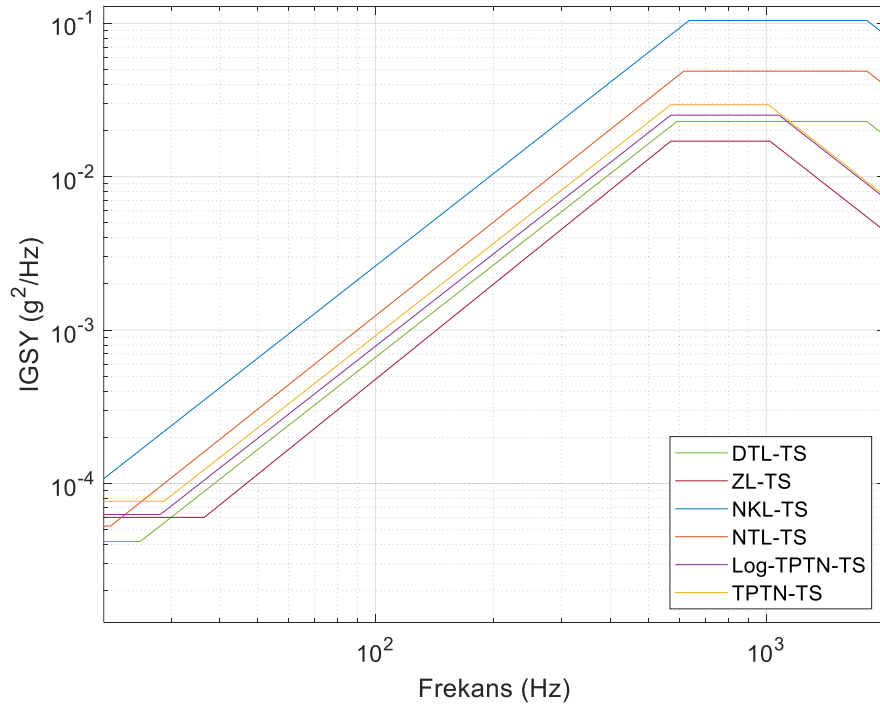
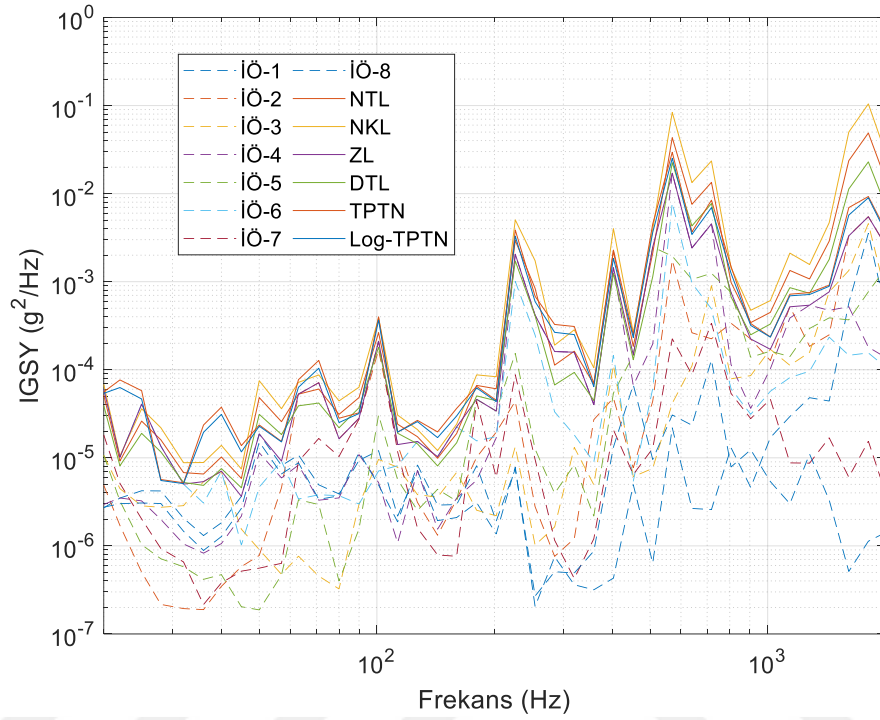
Şekil Ek. 23 : Durum 24 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 25 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 24'te üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



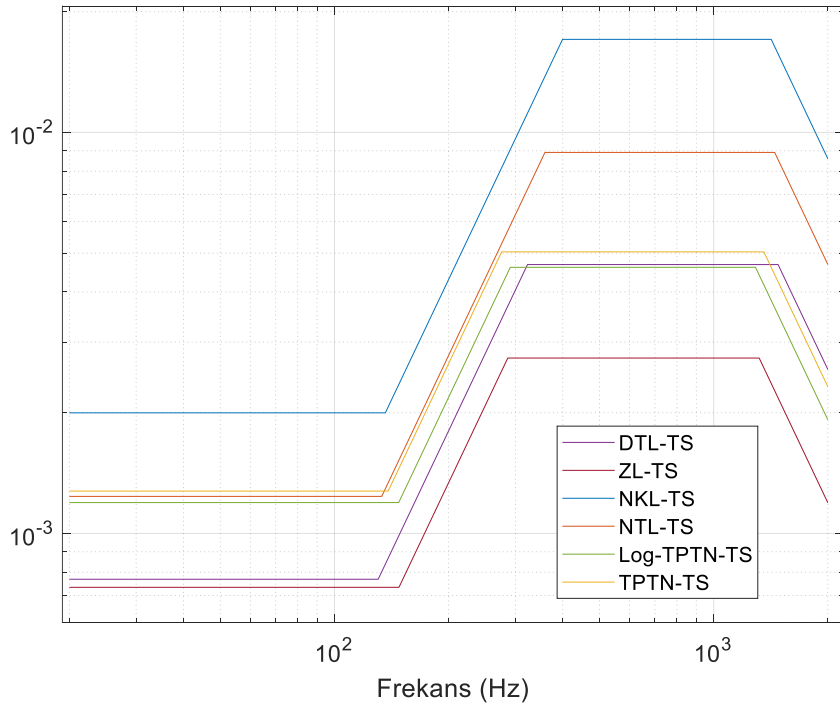
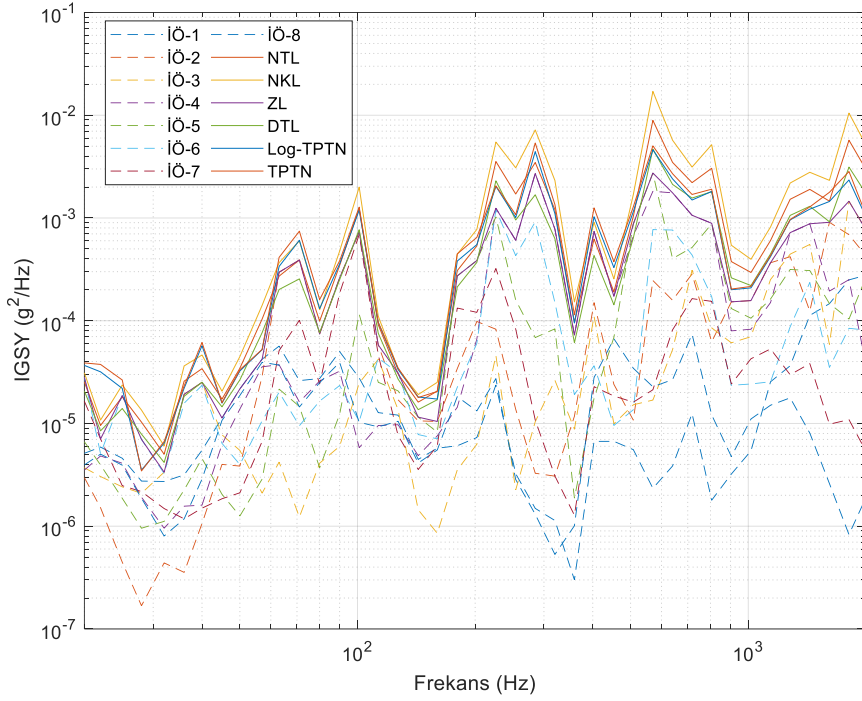
Şekil Ek. 24 : Durum 25 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 26 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 25'te üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



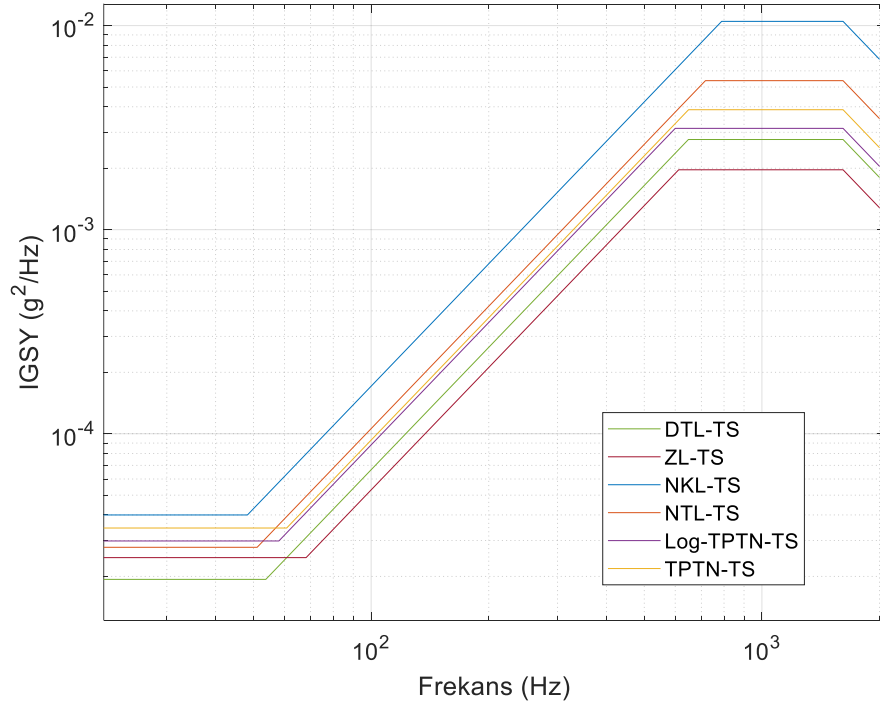
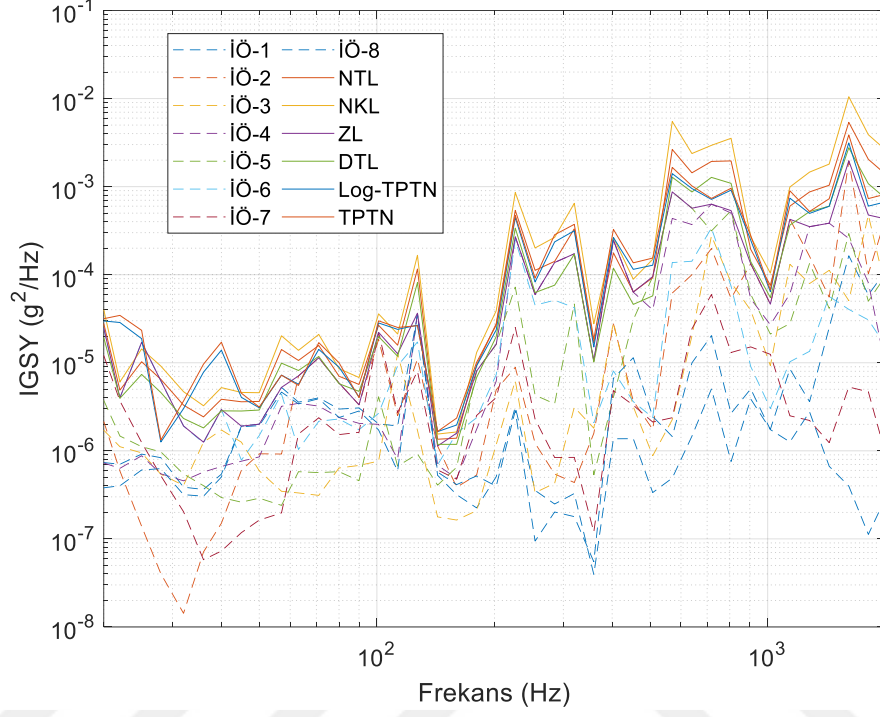
Şekil Ek. 25 : Durum 26 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 27 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 26'da üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



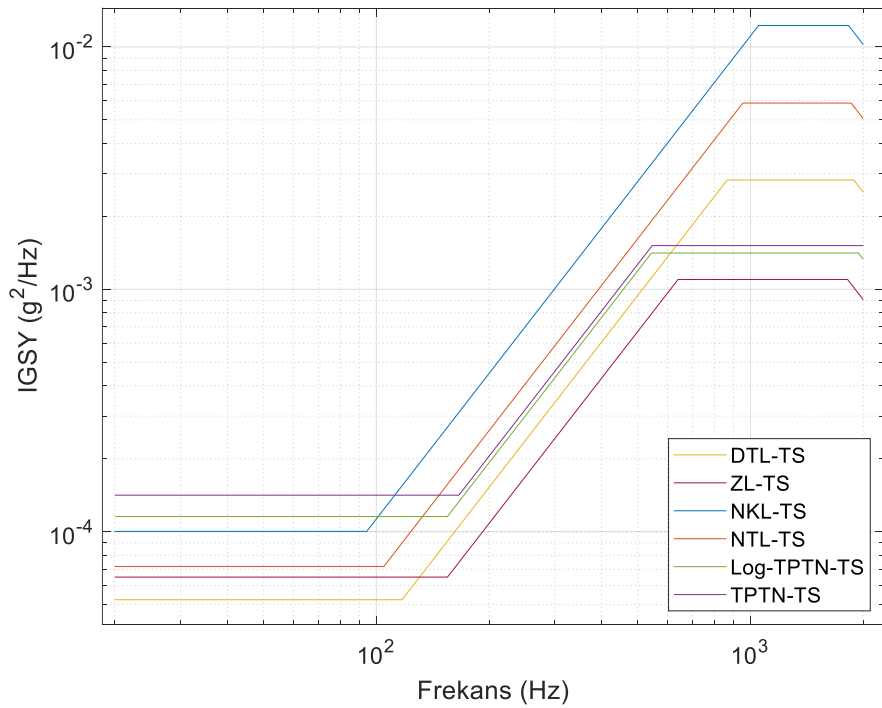
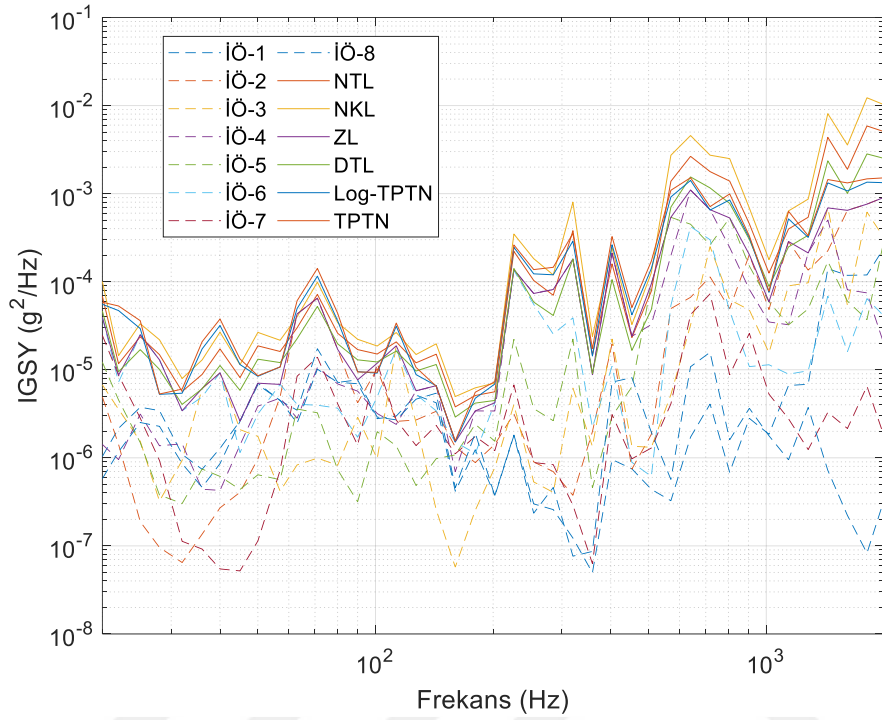
Şekil Ek. 26 : Durum 27 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 28 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 27’de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



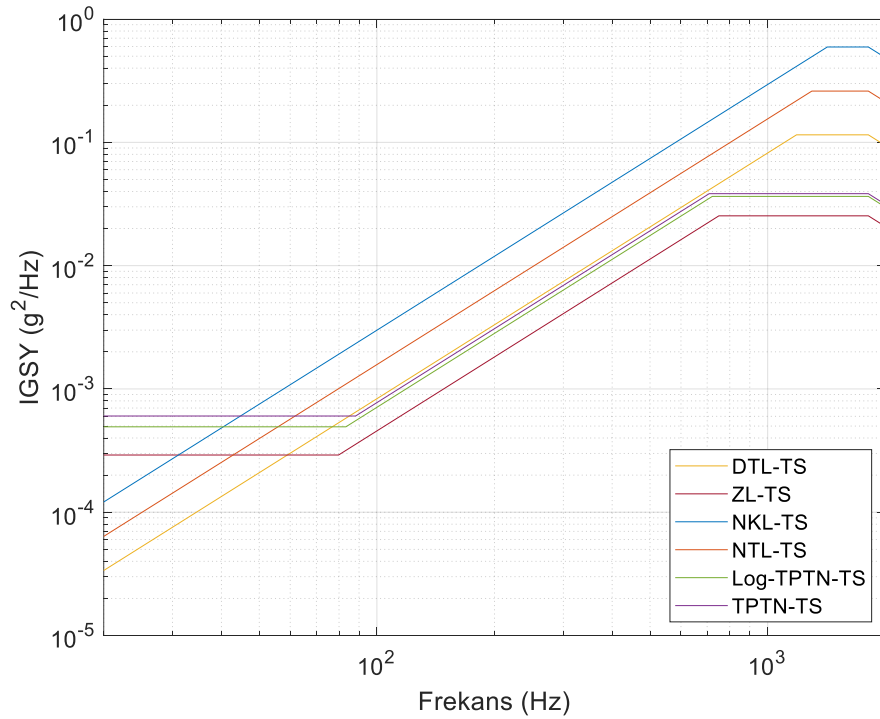
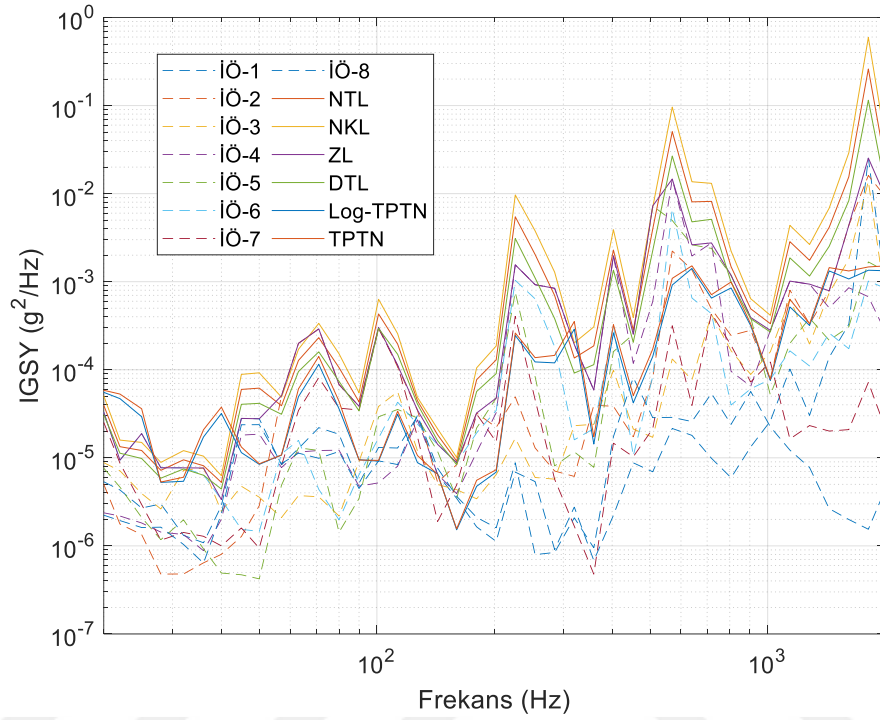
Şekil Ek. 27 : Durum 28 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 29 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 28'de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



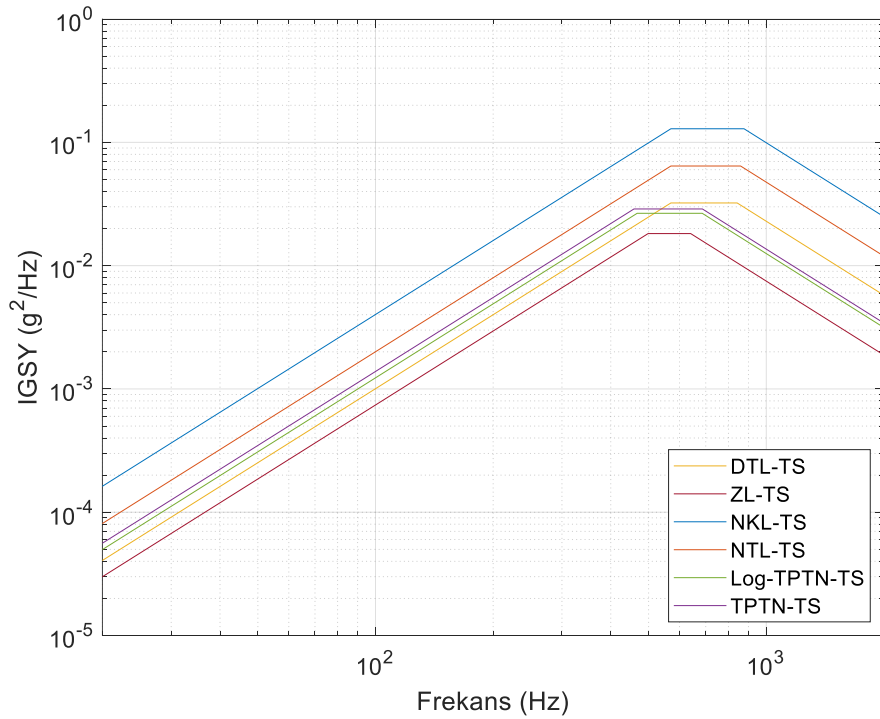
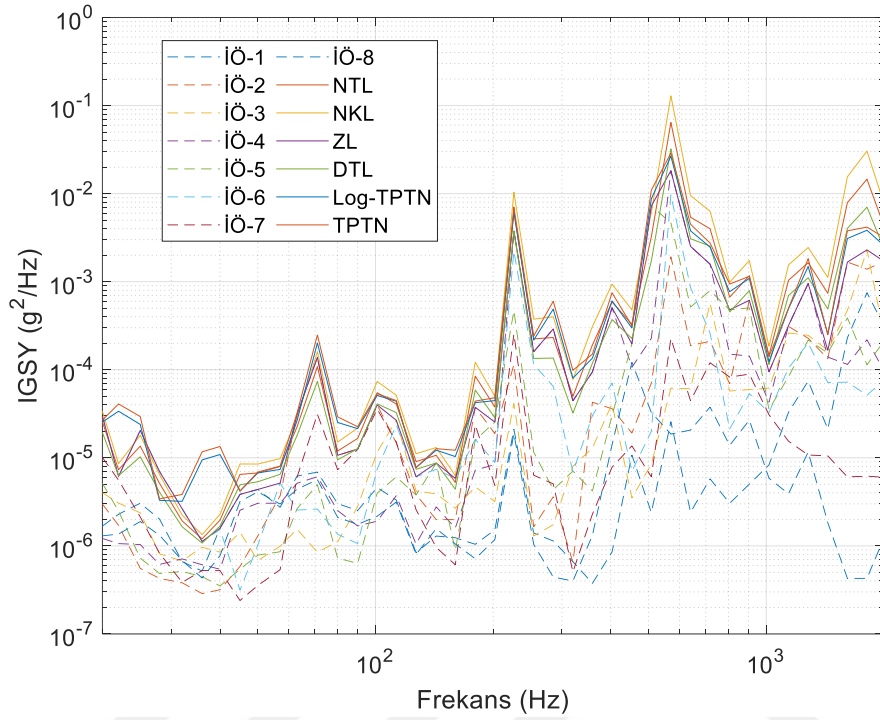
Şekil Ek. 28 : Durum 29 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 30 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 29'da üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



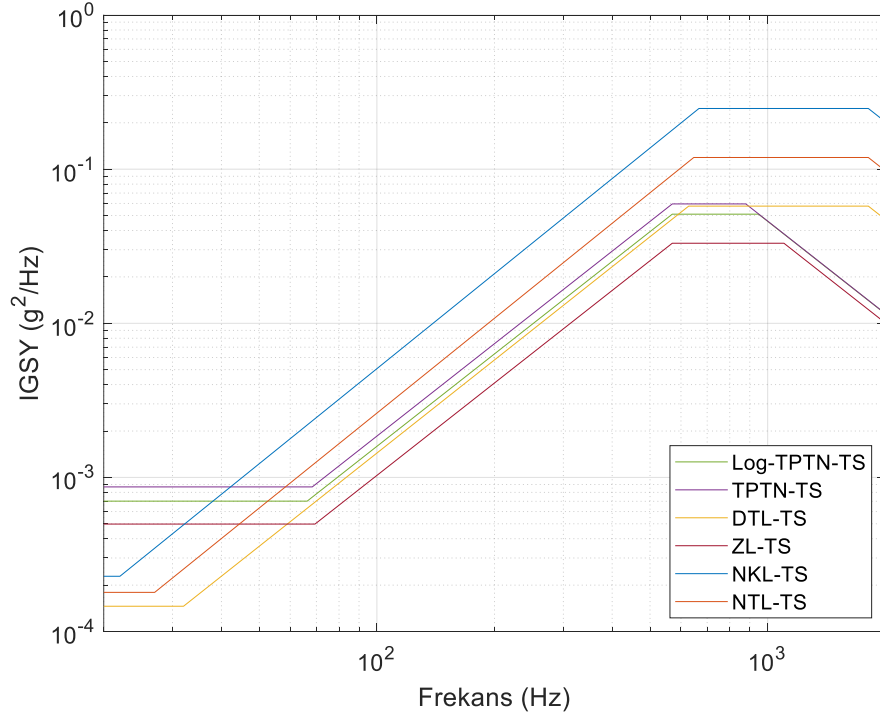
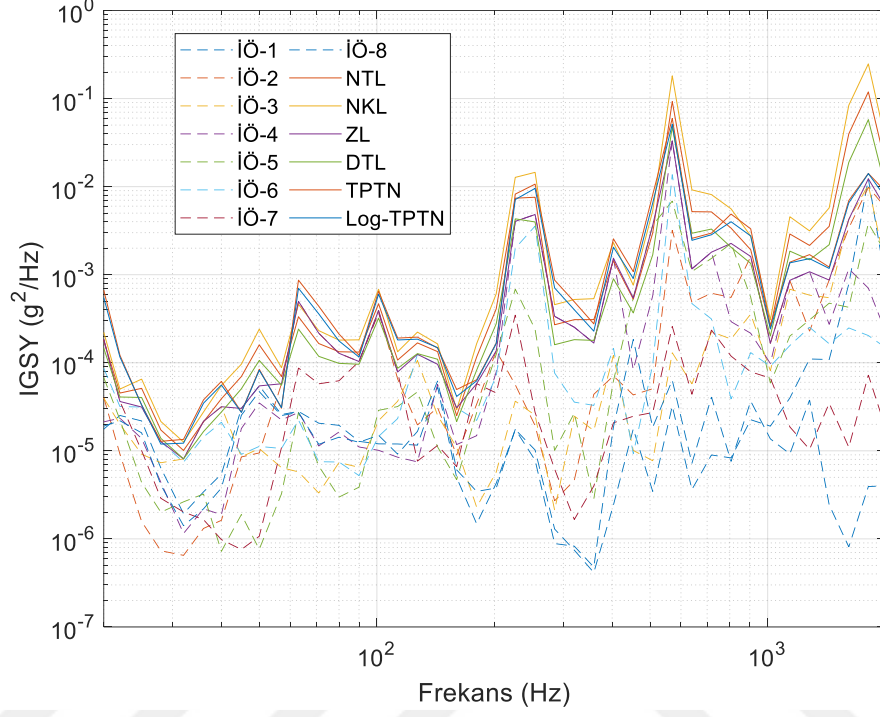
Şekil Ek. 29 : Durum 30 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 31 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 30'da üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



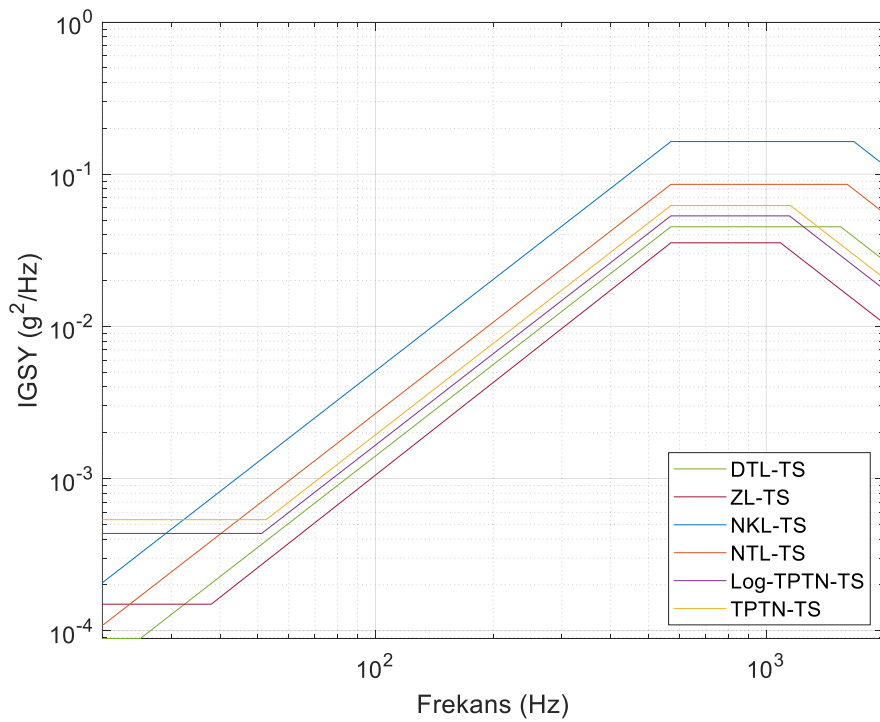
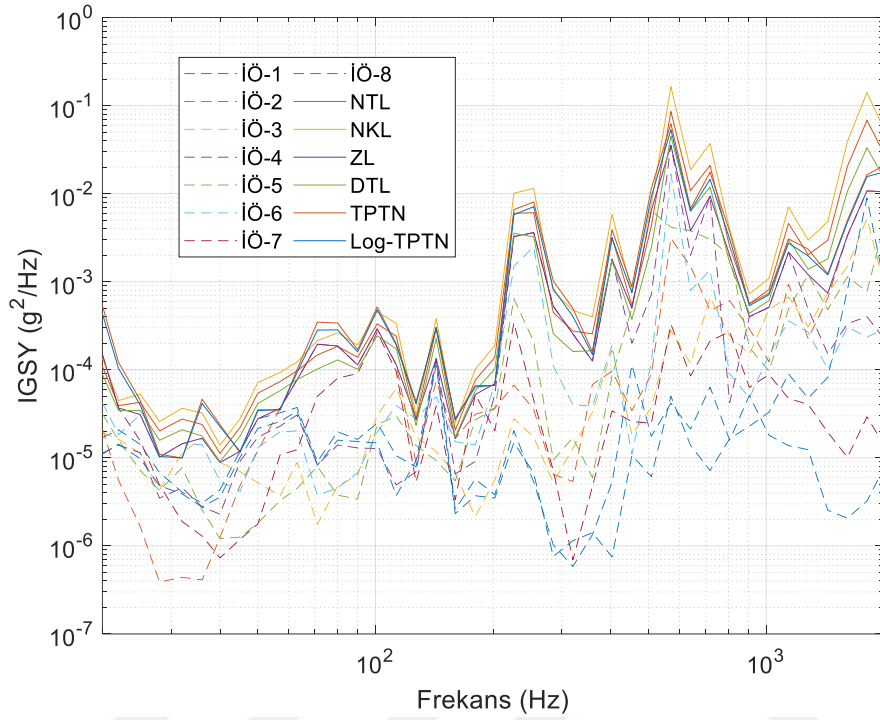
Şekil Ek. 30 : Durum 31 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 32 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 31'de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



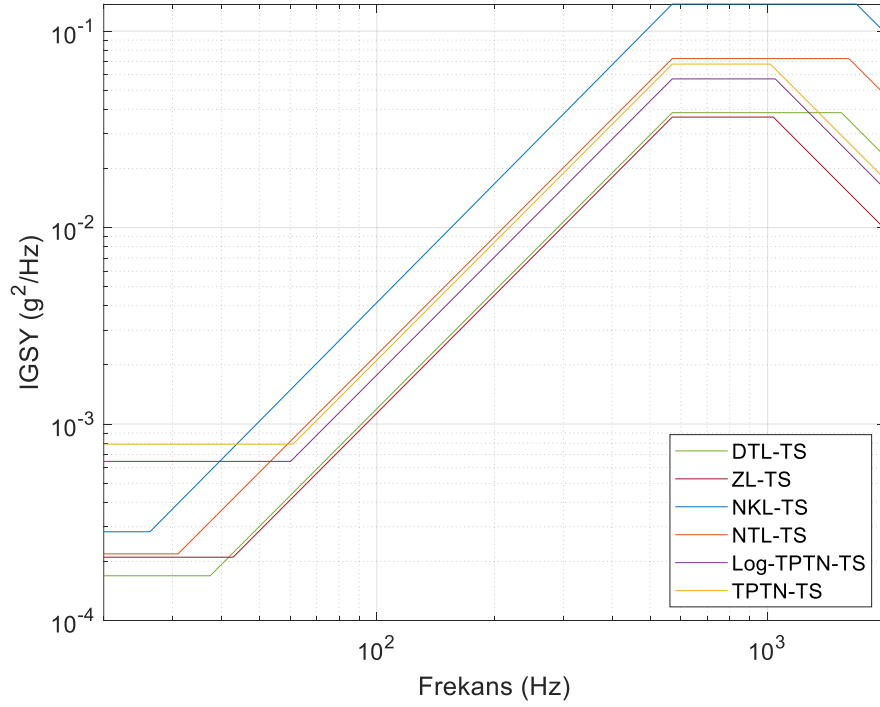
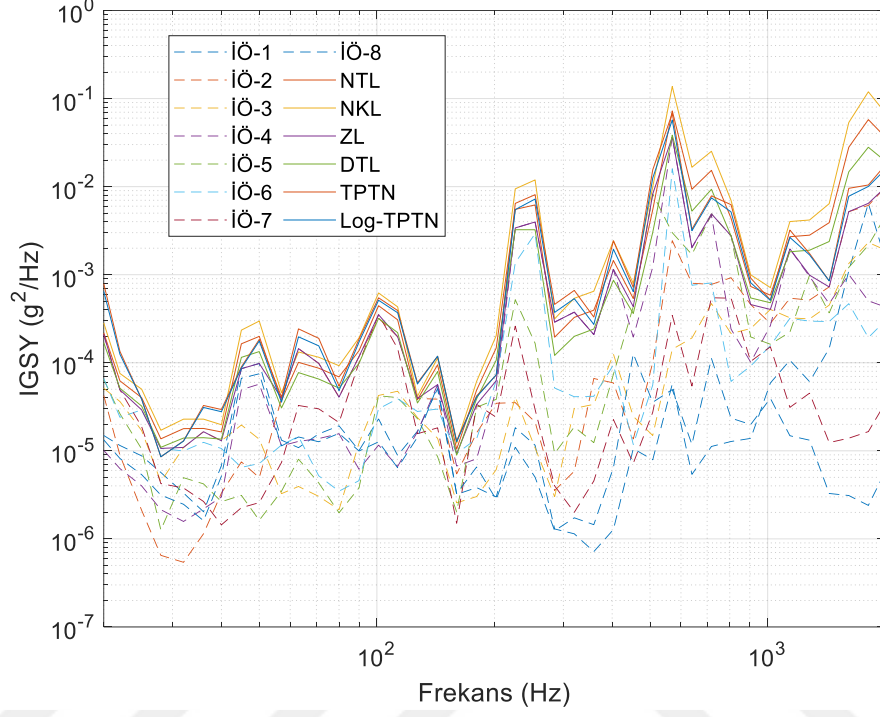
Şekil Ek. 31 : Durum 32 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 33 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 32'de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



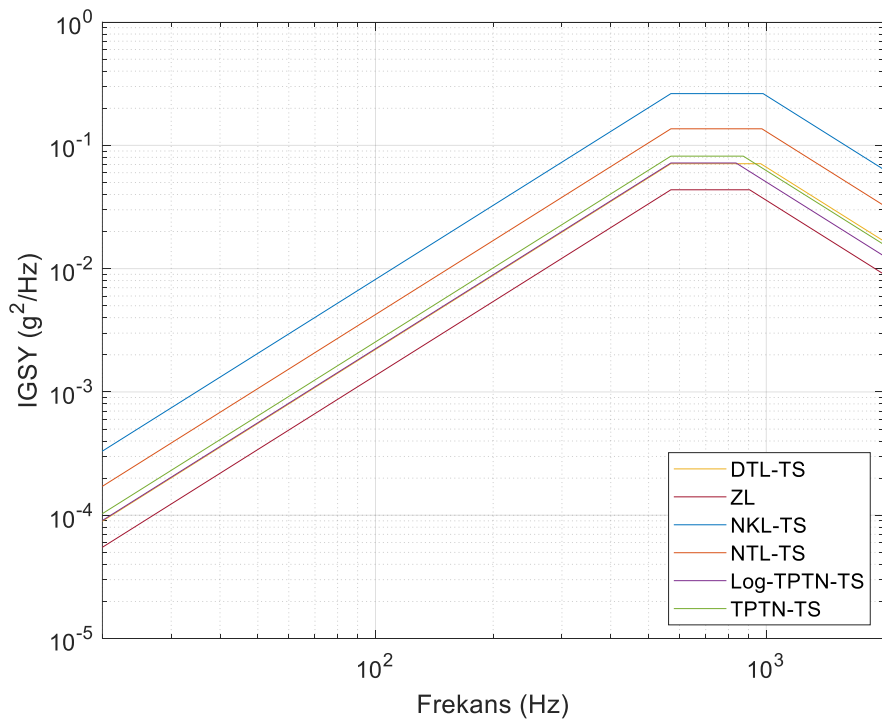
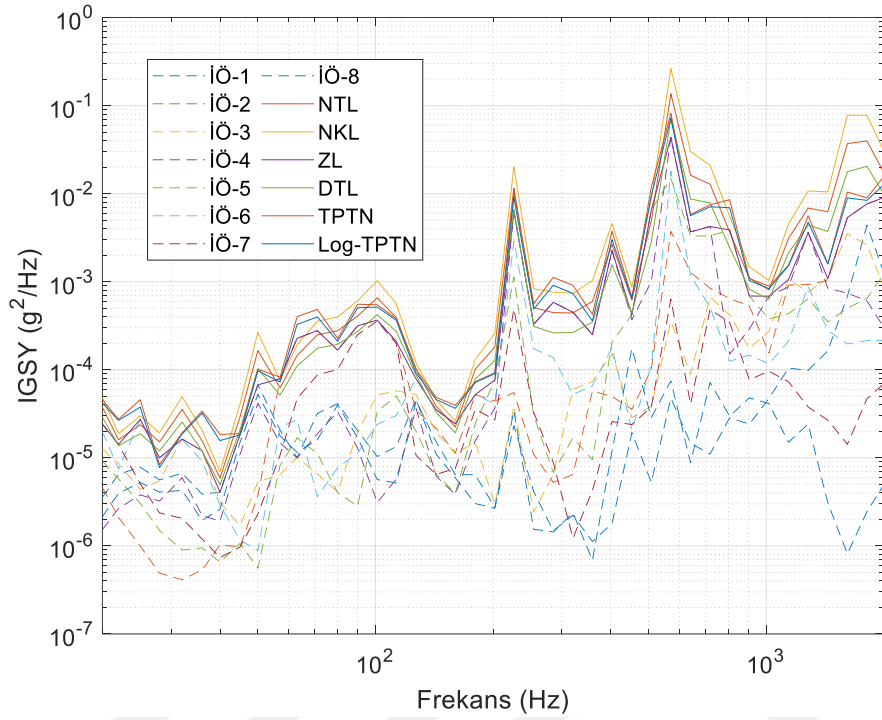
Şekil Ek. 32 : Durum 33 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 34 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 33'te üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



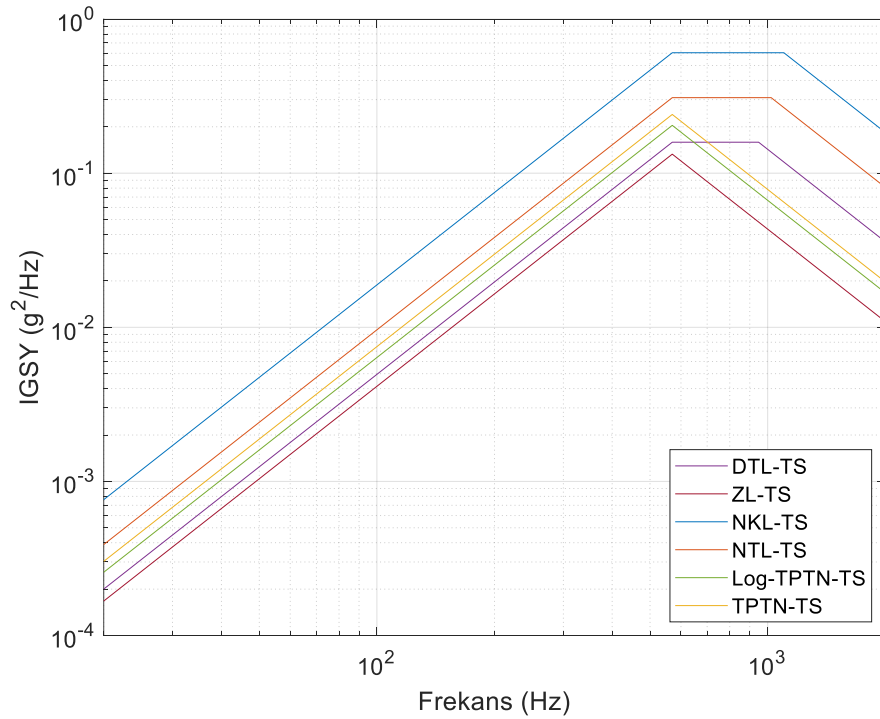
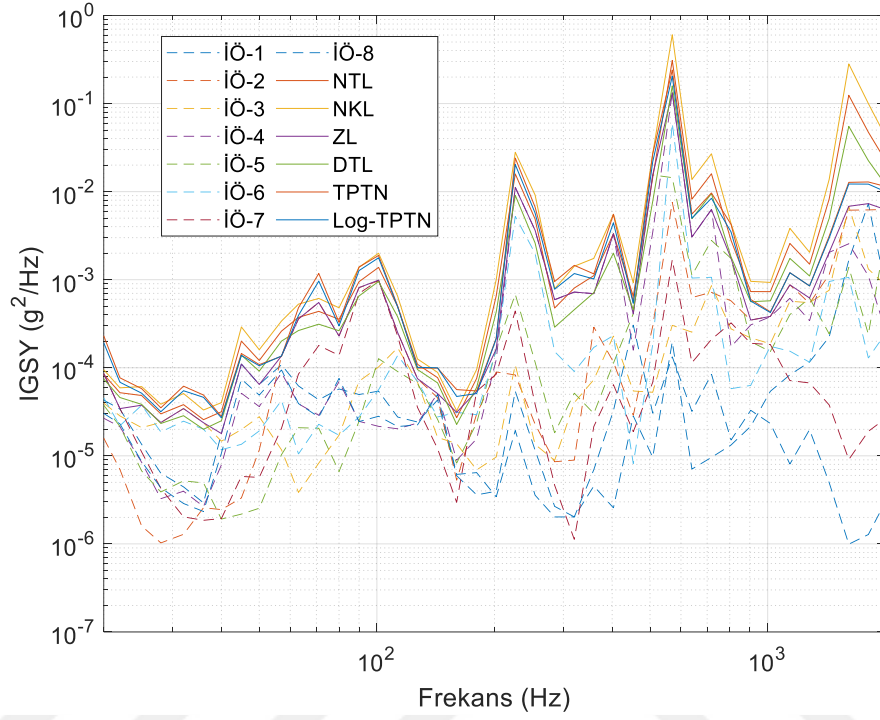
Şekil Ek. 33 : Durum 34 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 35 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 34'te üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



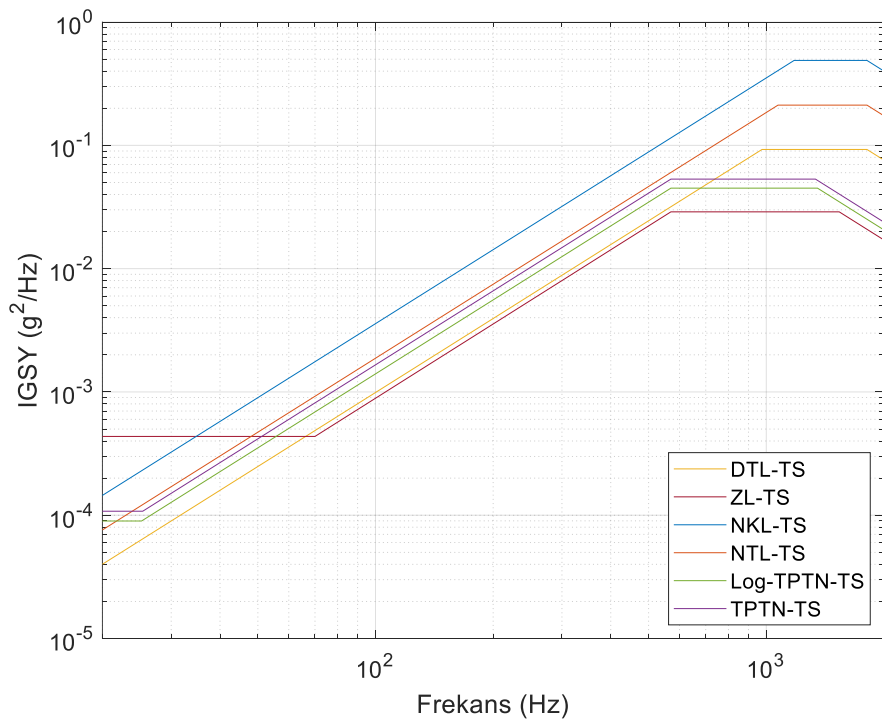
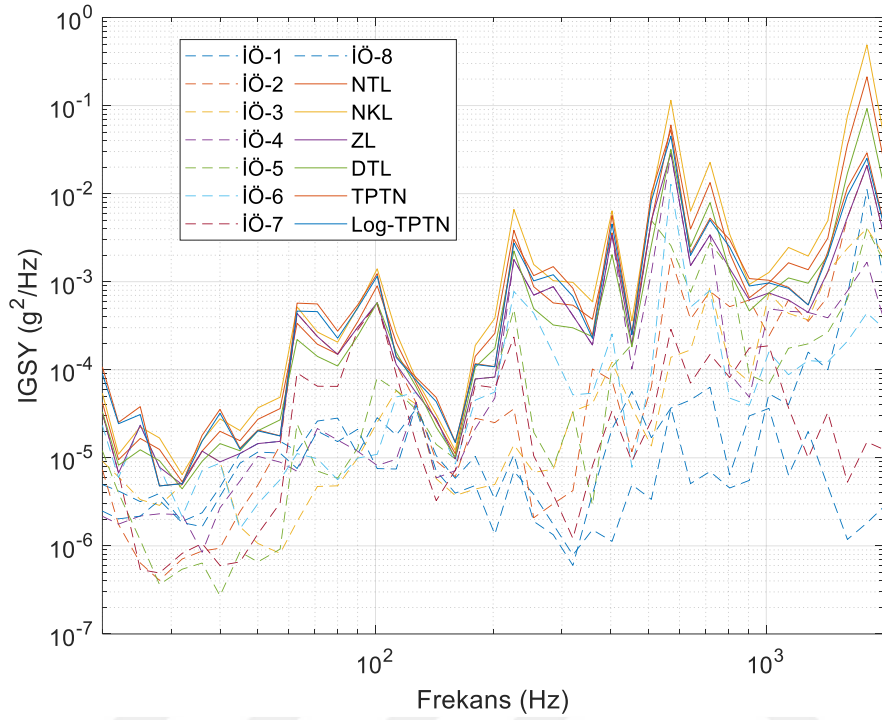
Şekil Ek. 34 : Durum 35 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 36 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 35'te üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



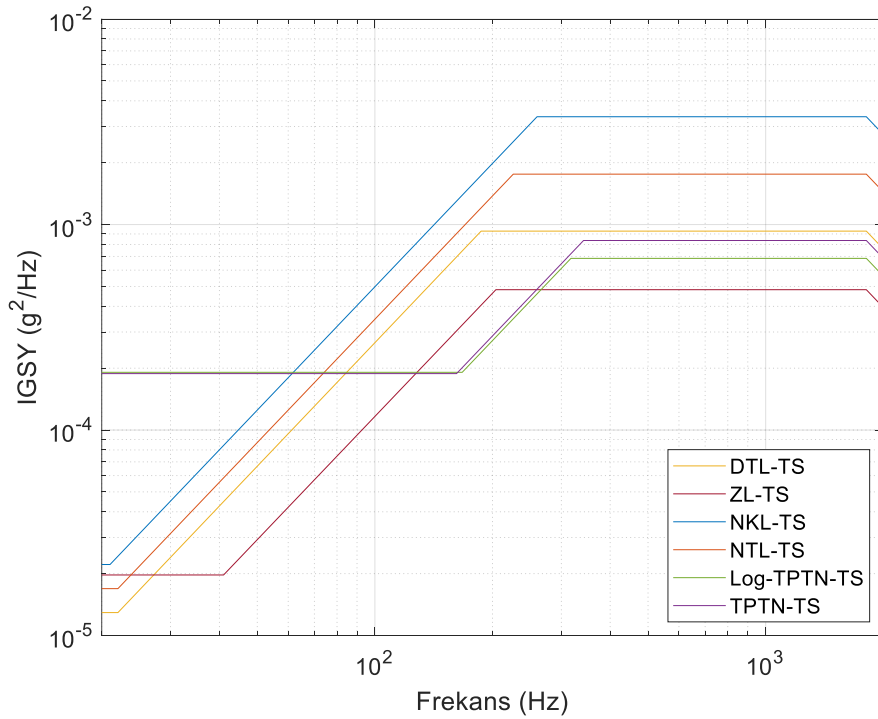
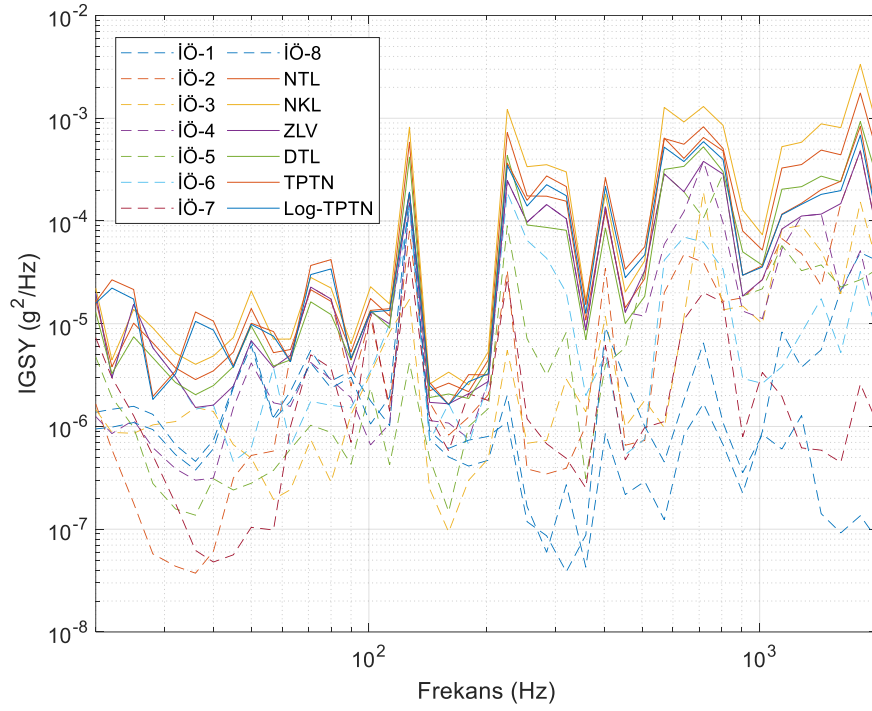
Şekil Ek. 35 : Durum 36 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 37 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 36'da üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



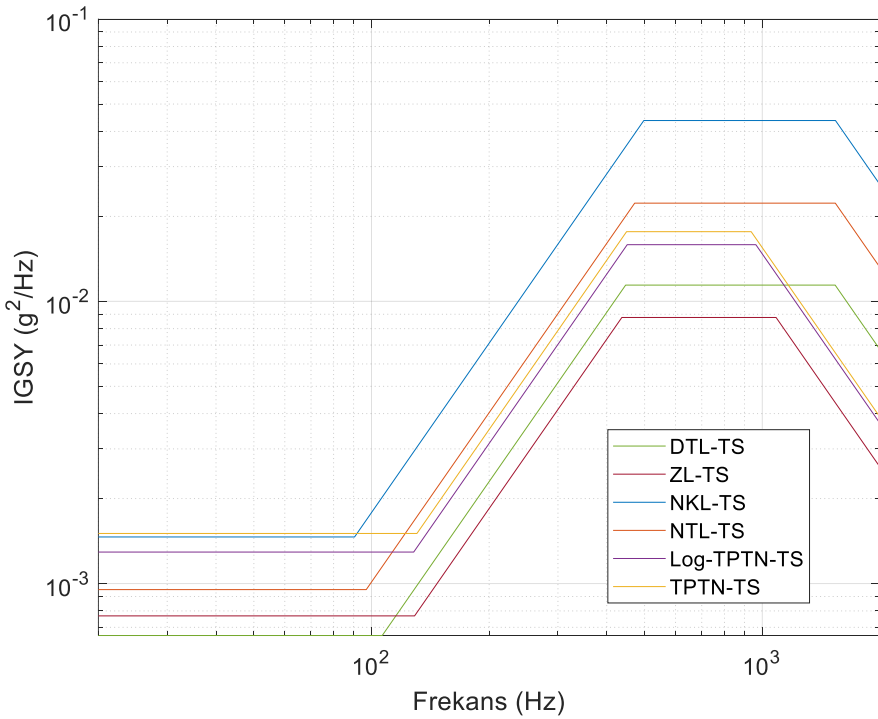
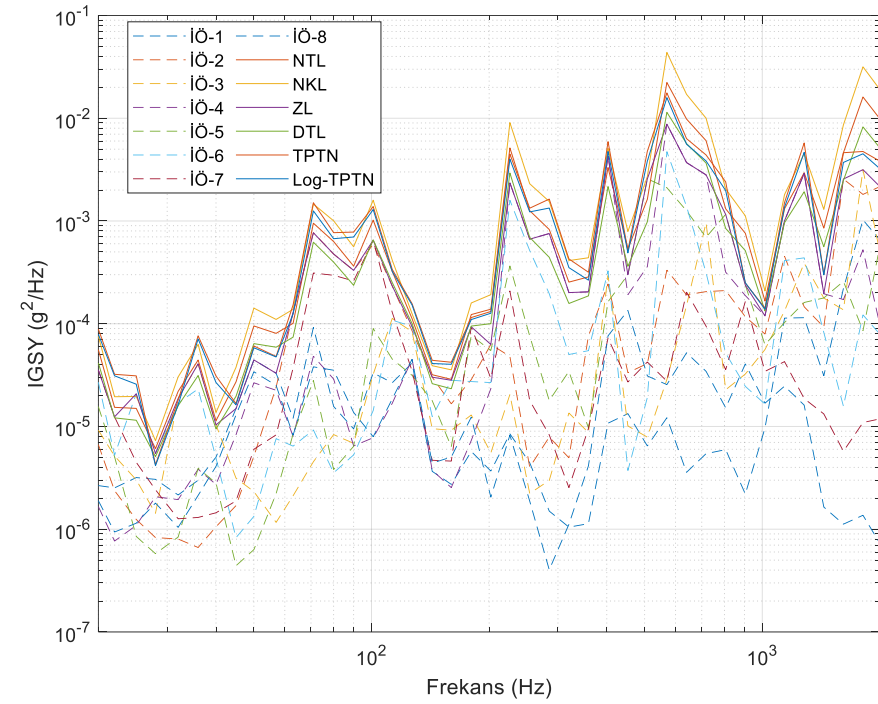
Şekil Ek. 36 : Durum 37 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 38 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 37’de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



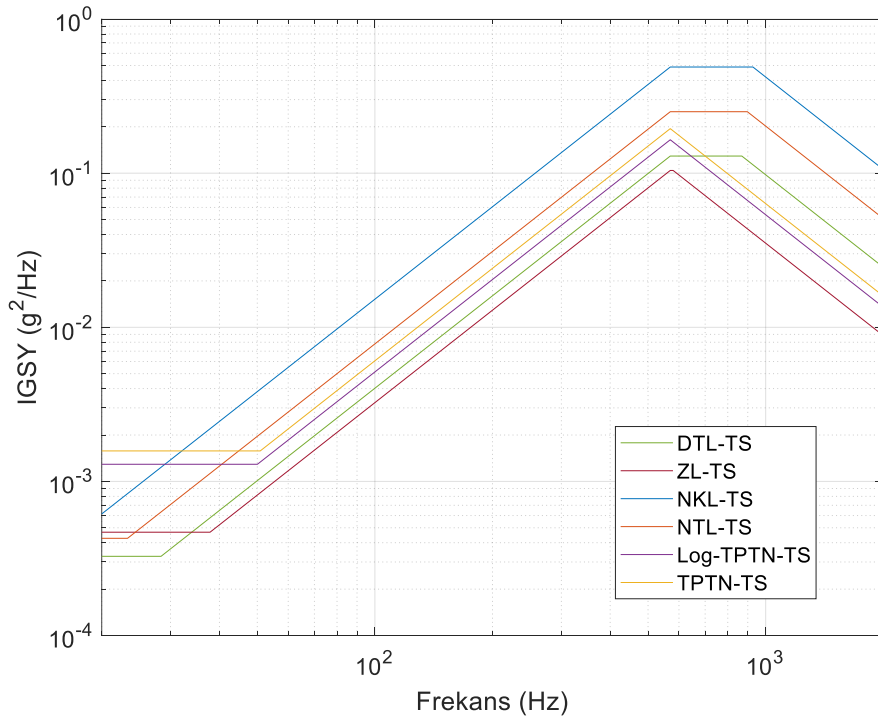
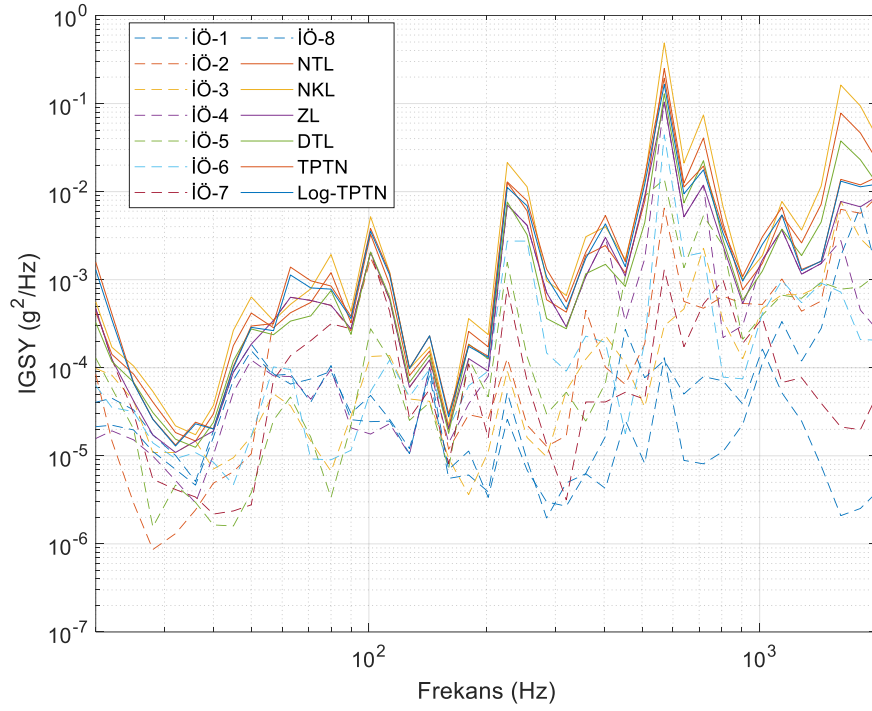
Şekil Ek. 37 : Durum 38 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 39 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 38'de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



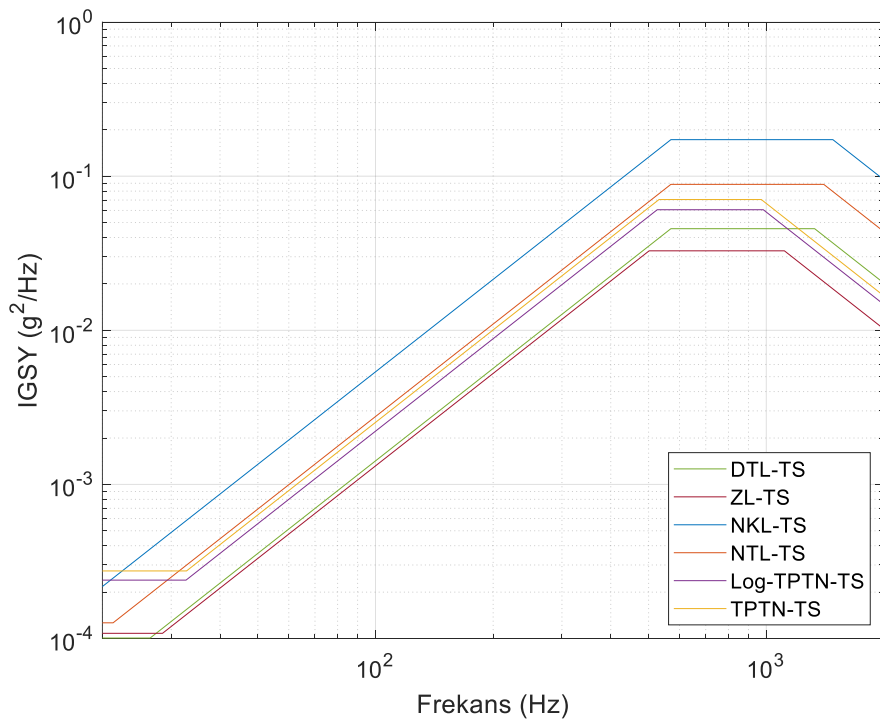
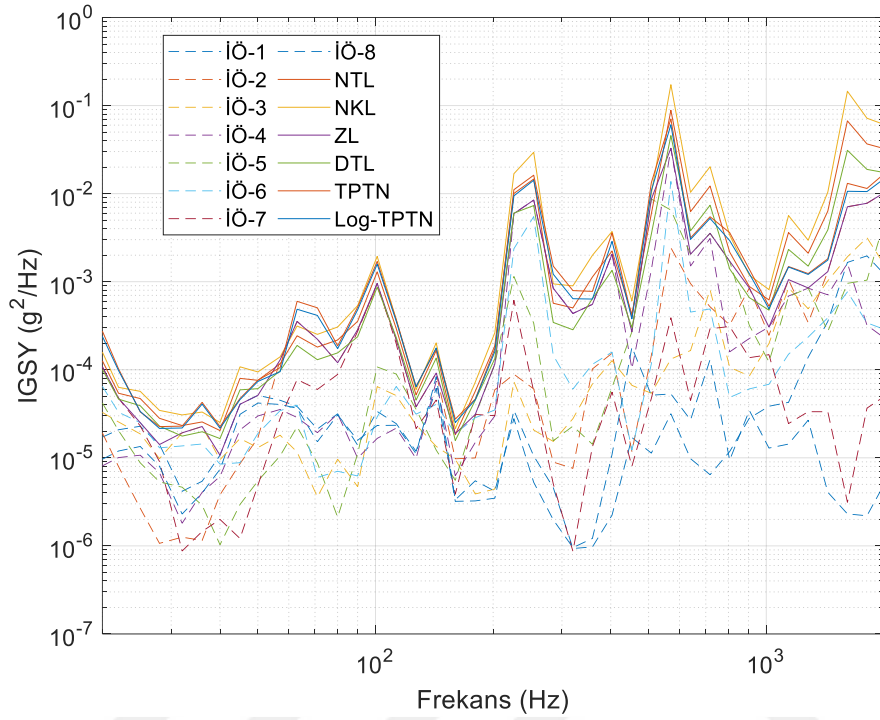
Şekil Ek. 38 : Durum 39 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 40 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 39'da üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



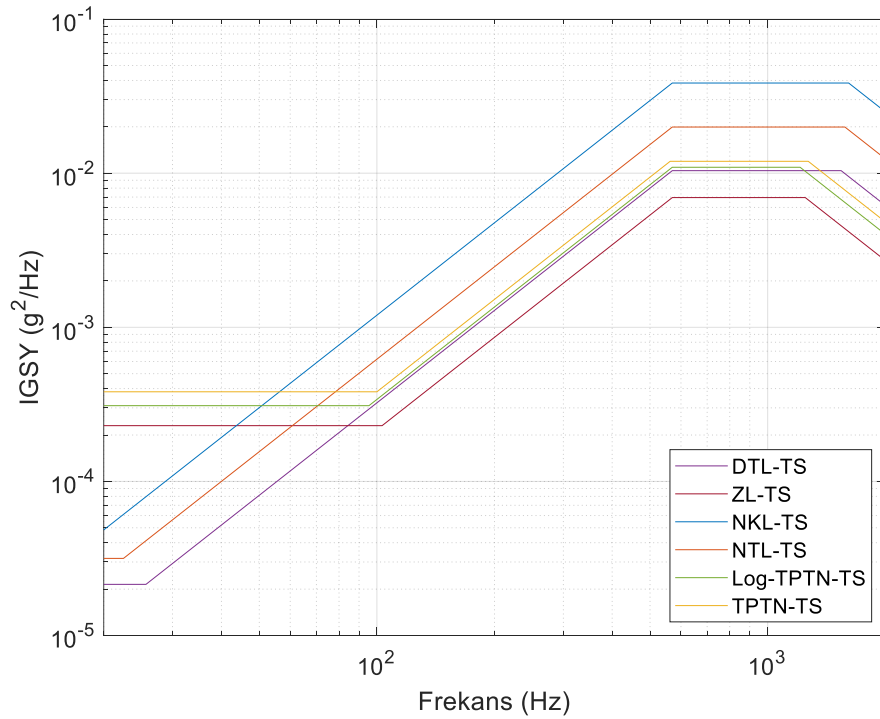
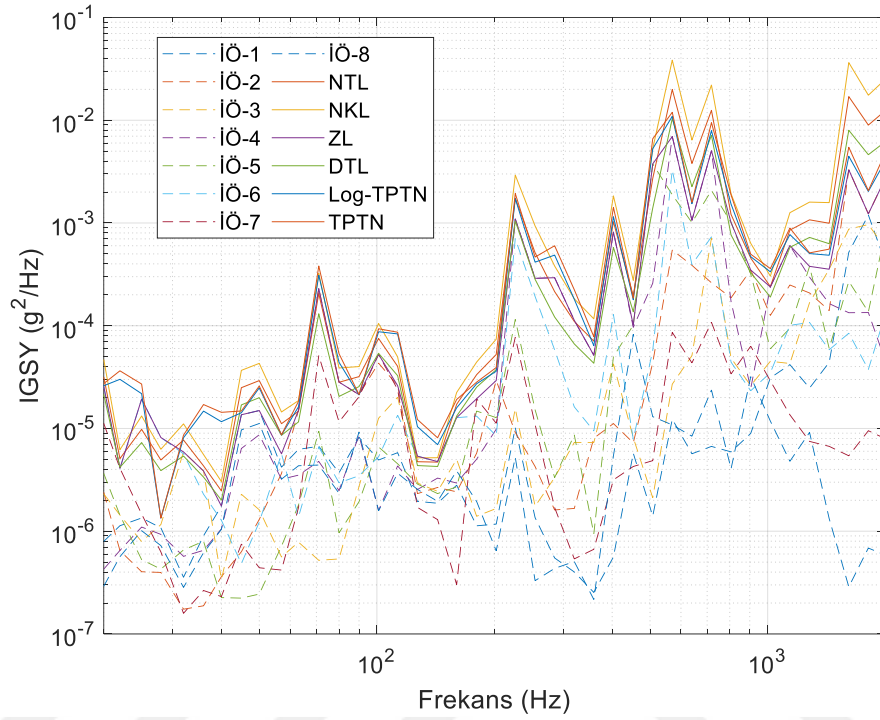
Şekil Ek. 39 : Durum 40 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 41 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 40'da üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



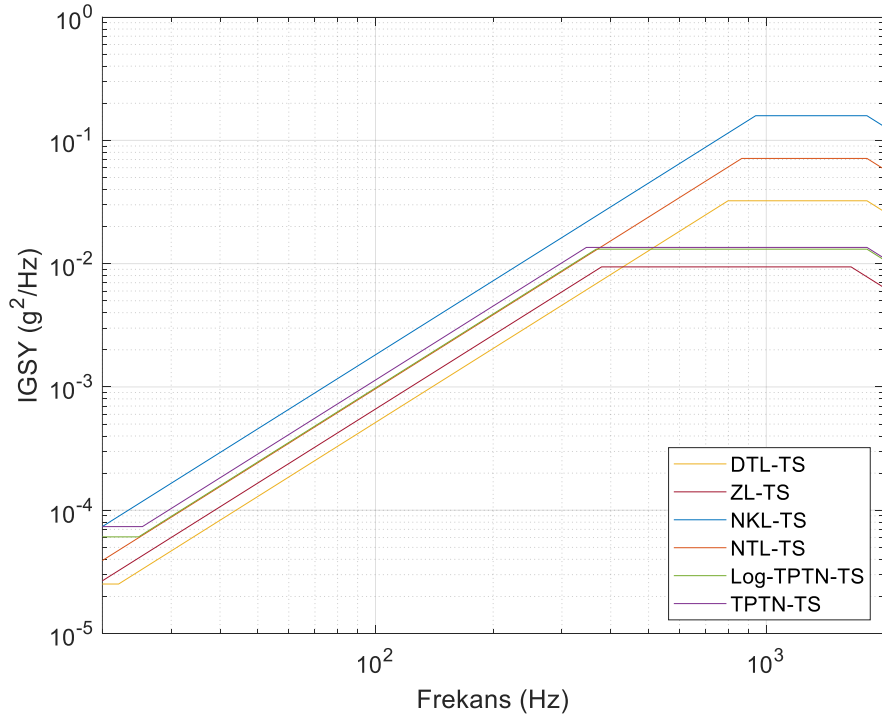
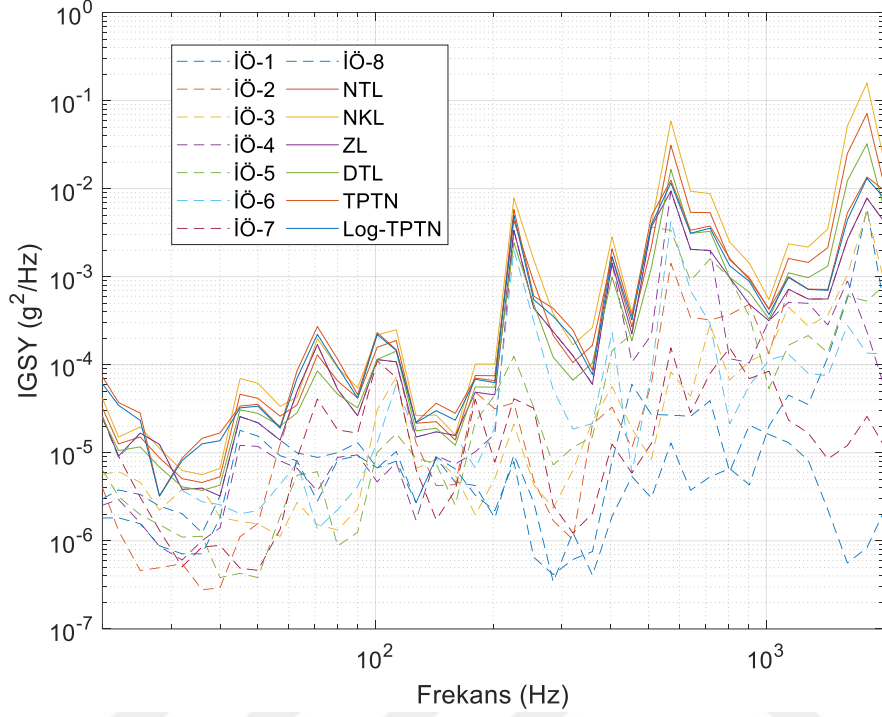
Şekil Ek. 40 : Durum 41 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 42 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 41'de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



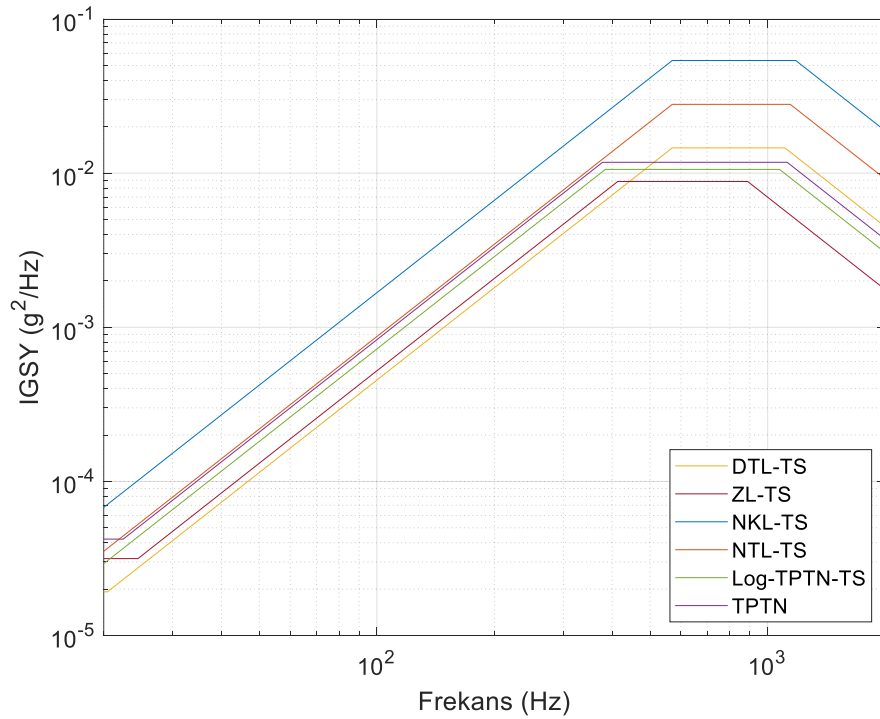
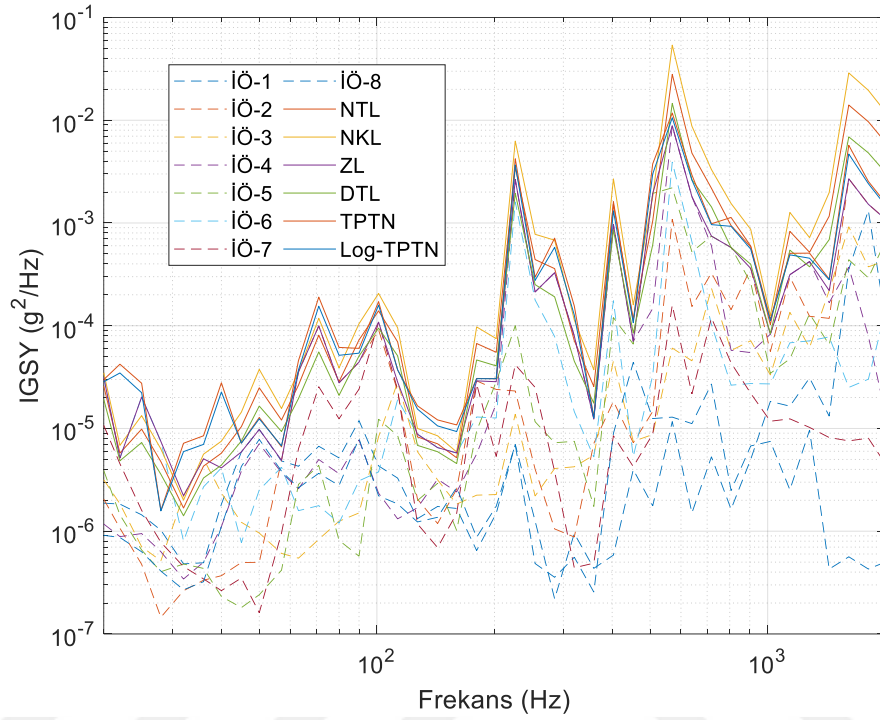
Şekil Ek. 41 : Durum 42 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 43 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 42’de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



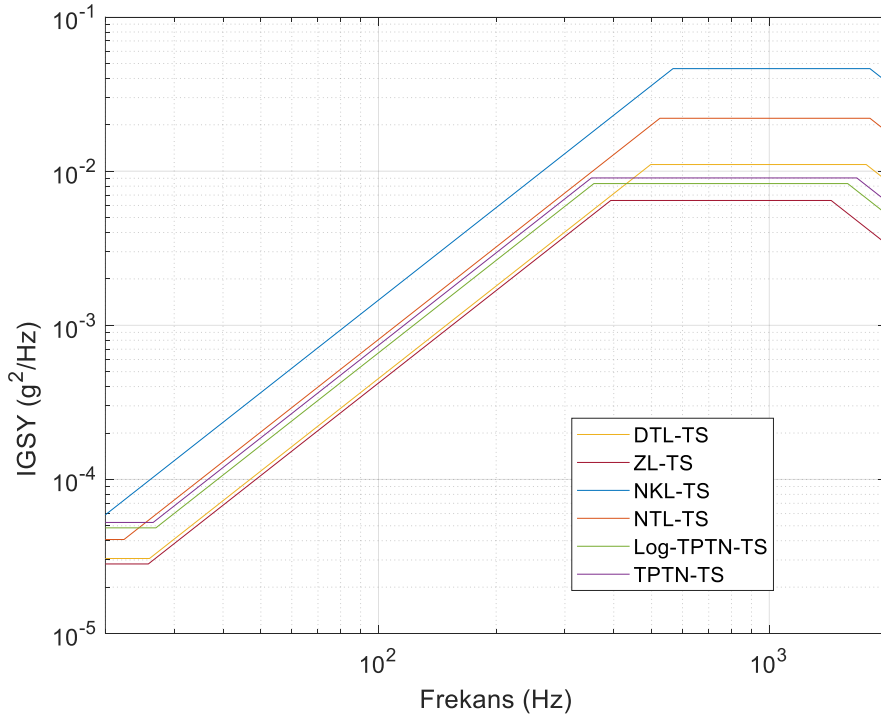
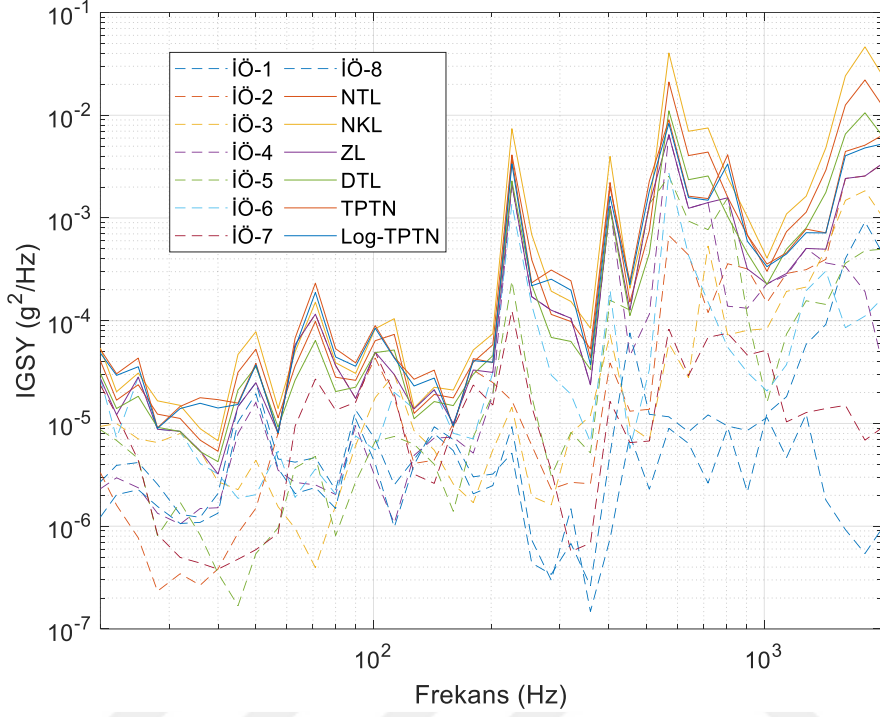
Şekil Ek. 42 : Durum 43 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 44 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 43'te üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



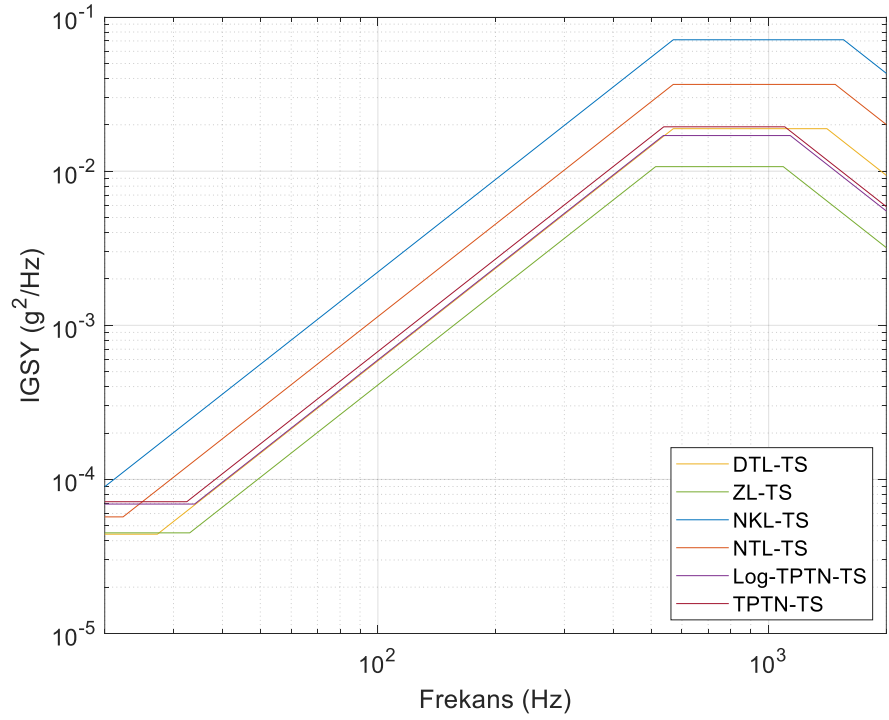
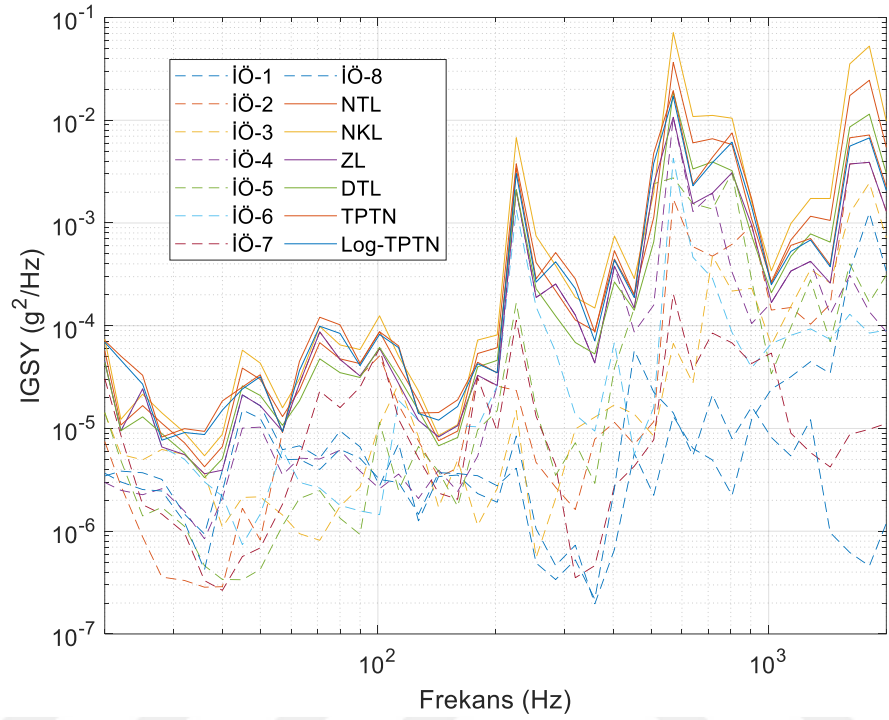
Şekil Ek. 43 : Durum 44 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 45 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 44'te üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



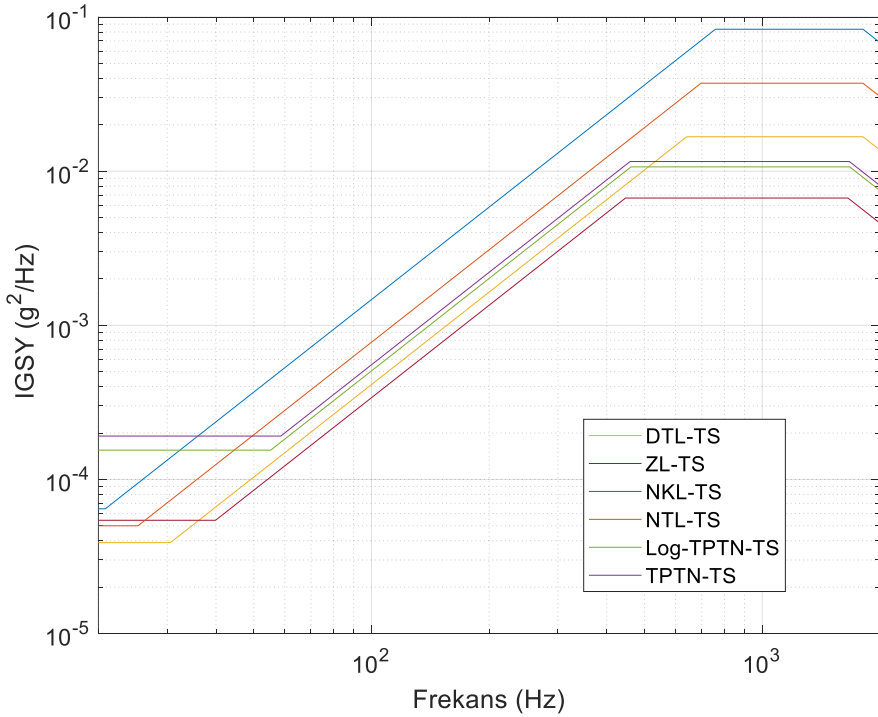
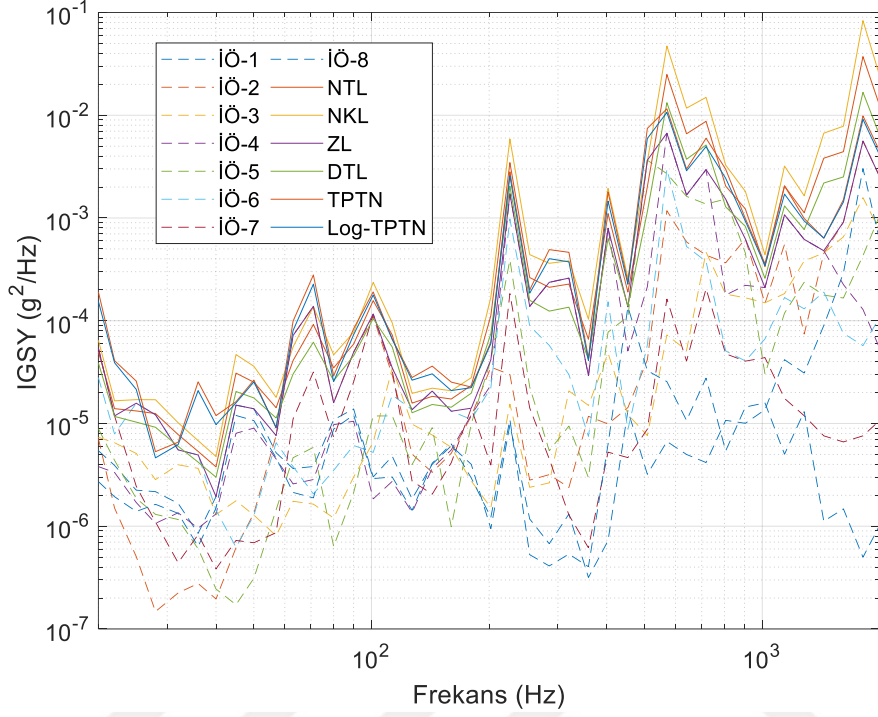
Şekil Ek. 44 : Durum 45 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 46 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 45'te üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



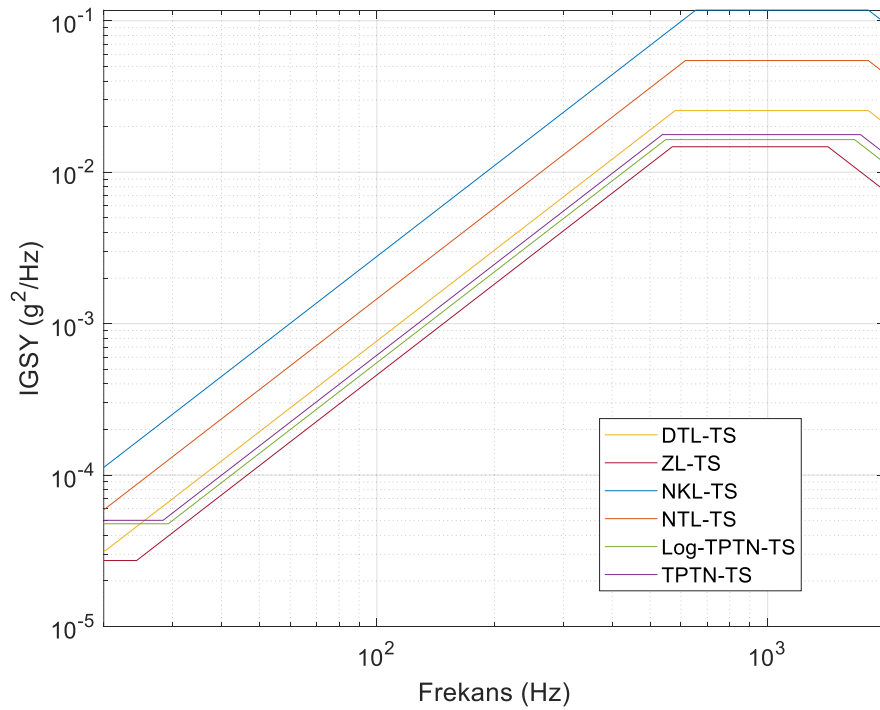
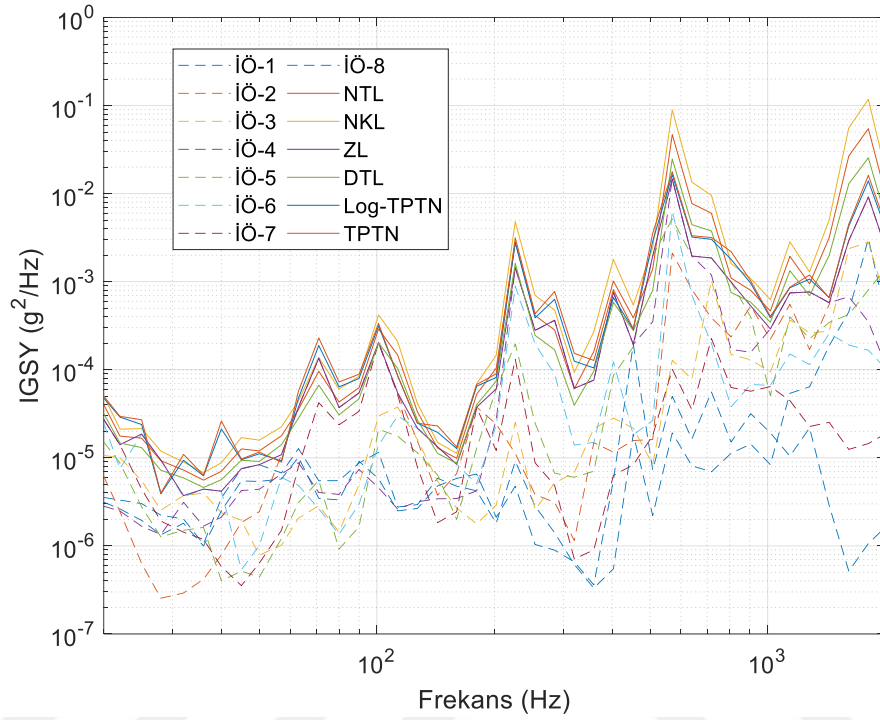
Şekil Ek. 45 : Durum 46 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 47 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 46'da üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



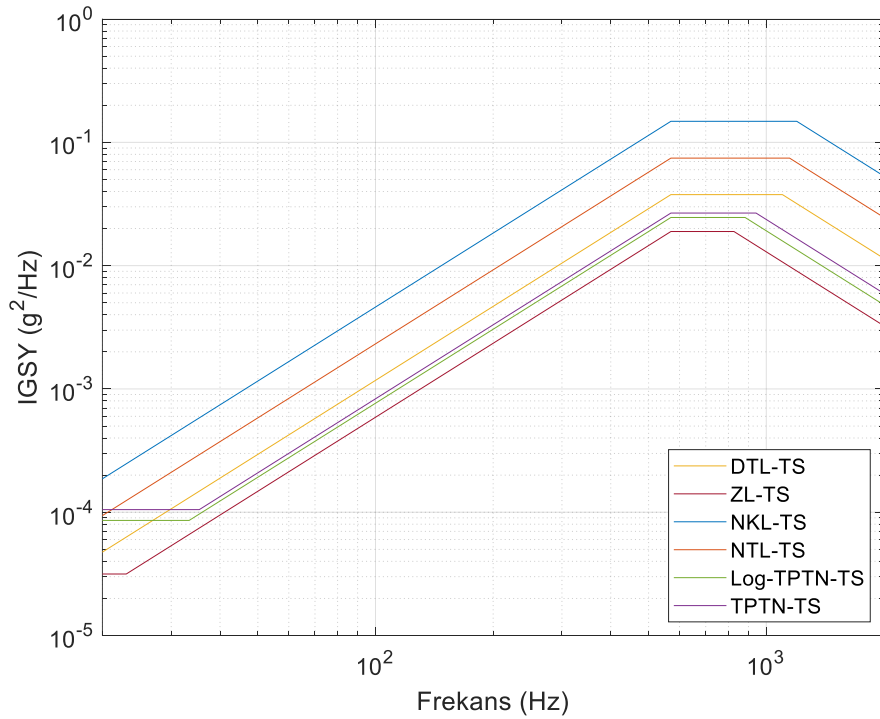
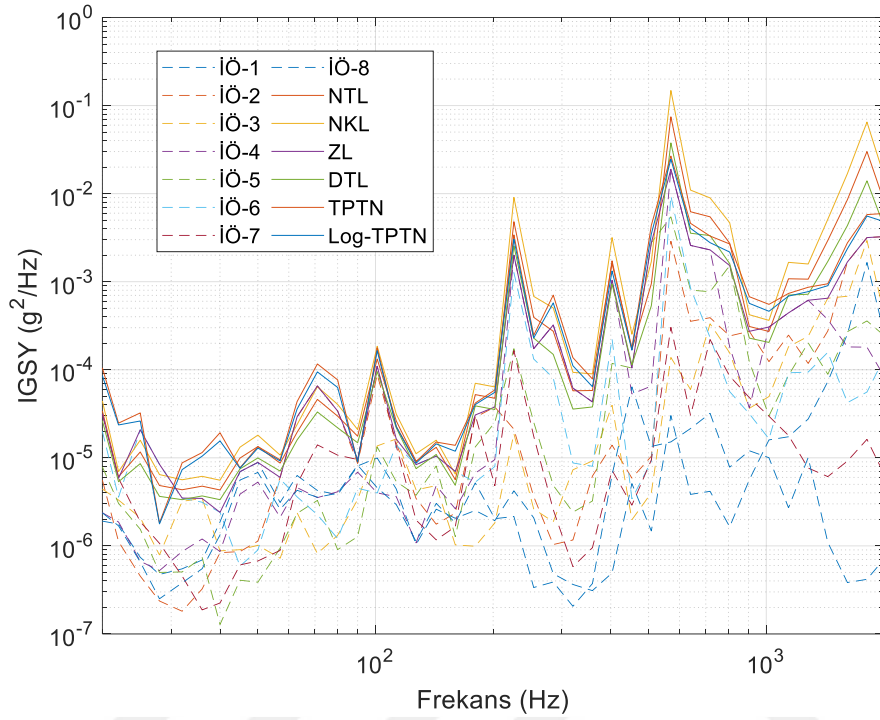
Şekil Ek. 46 : Durum 47 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 48 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 47’de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



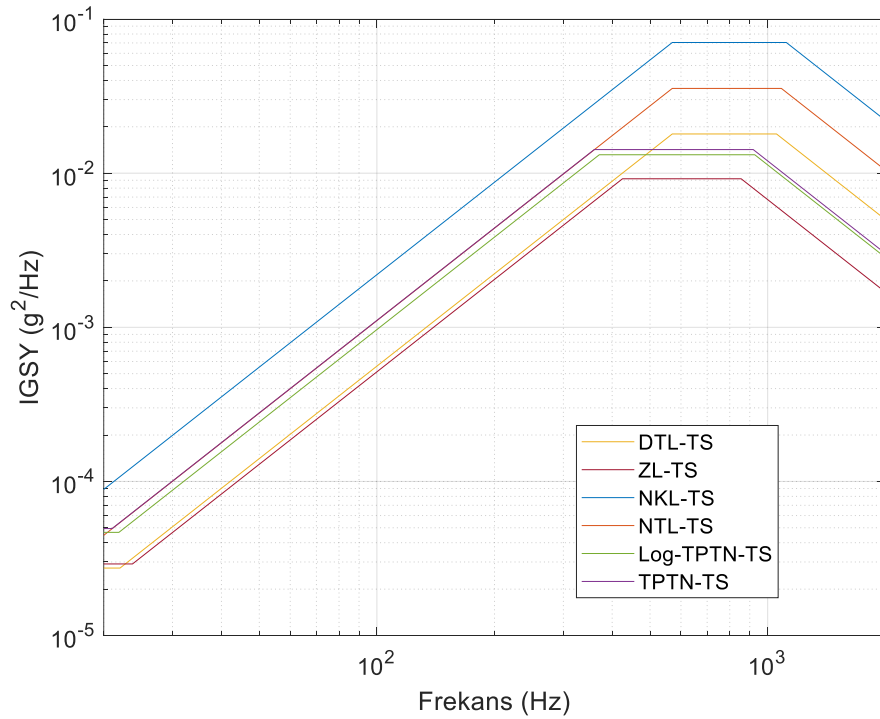
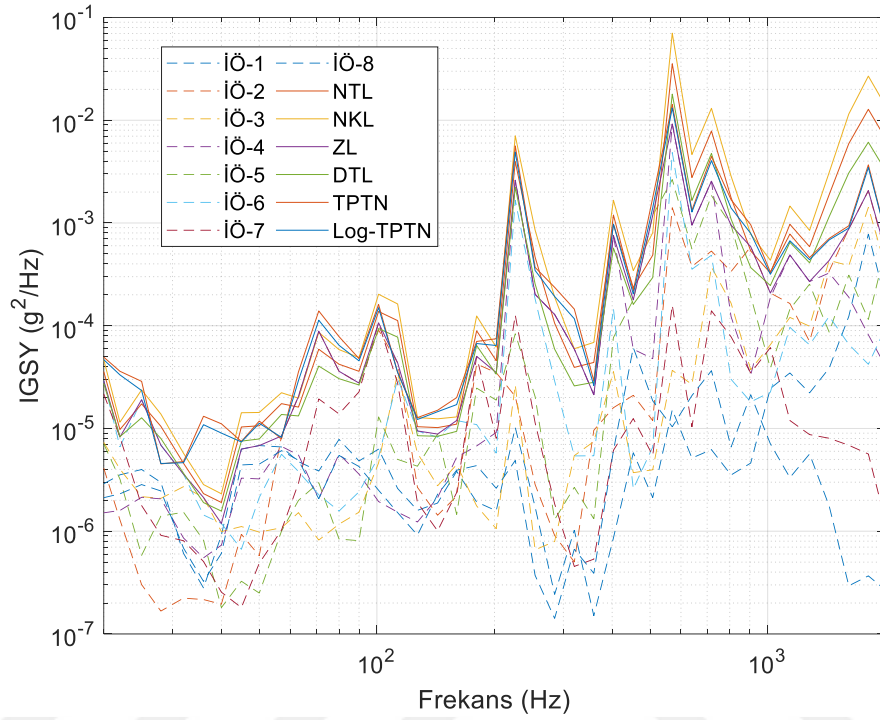
Şekil Ek. 47 : Durum 48 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 49 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 48'de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



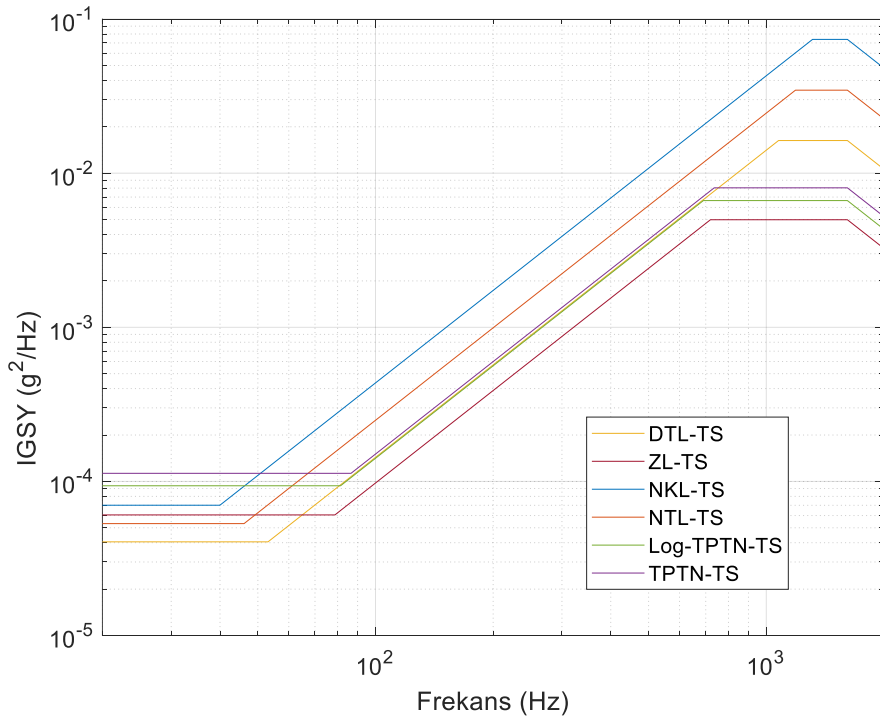
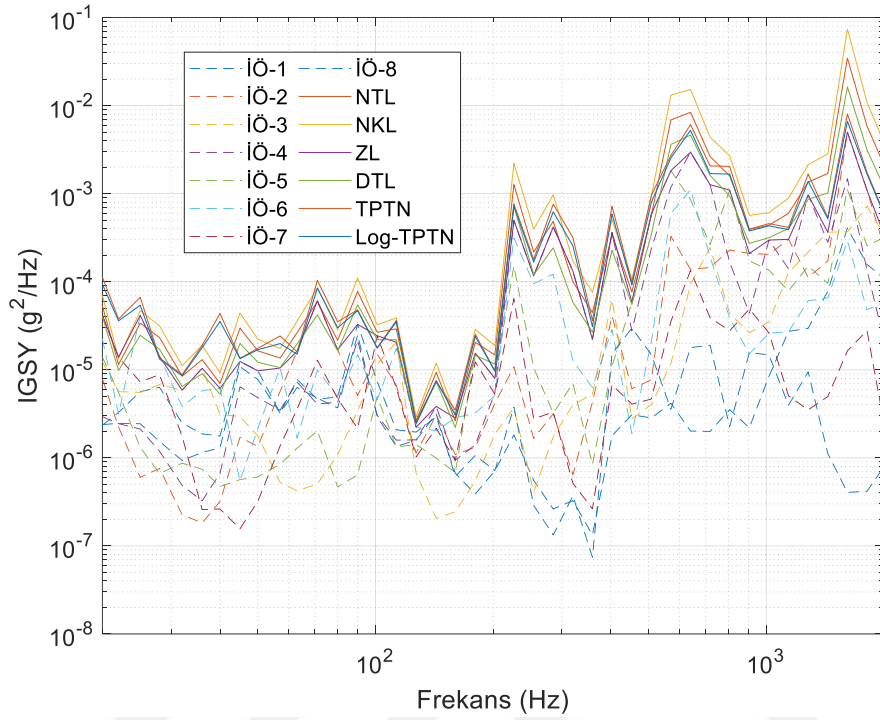
Şekil Ek. 48 : Durum 49 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 50 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 49'da üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



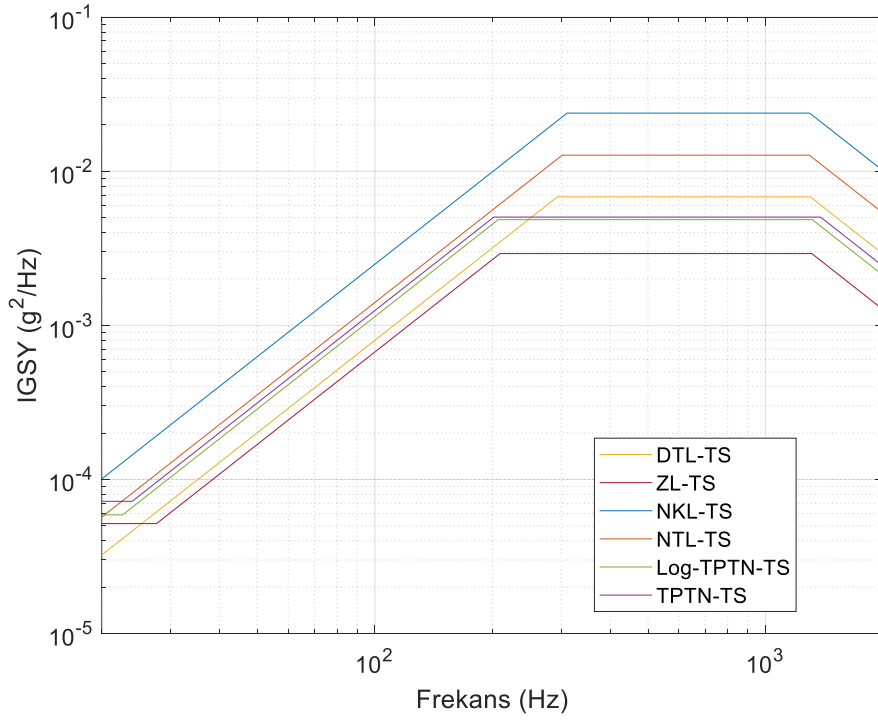
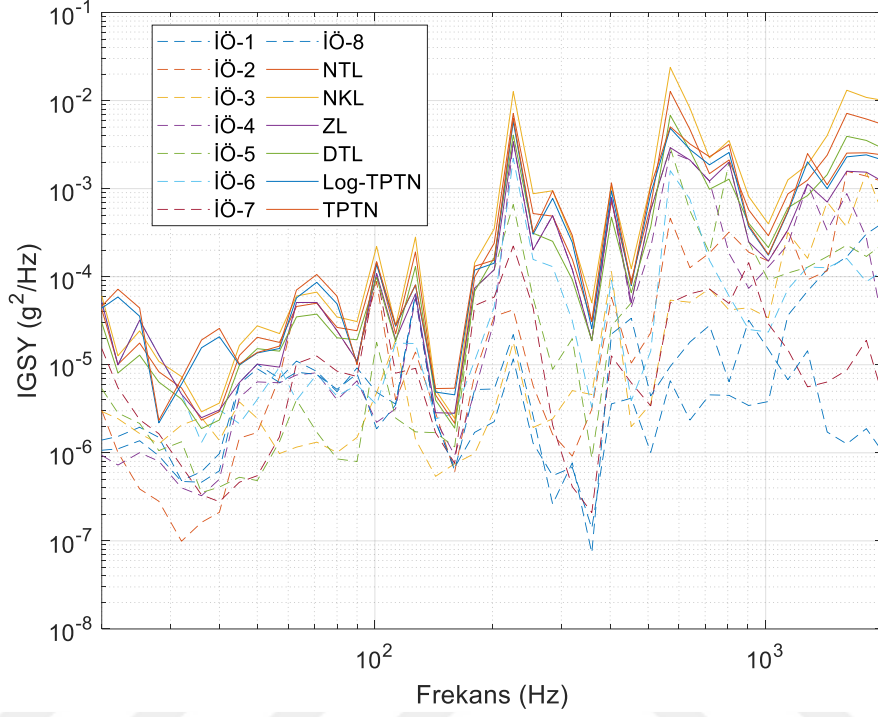
Şekil Ek. 49 : Durum 50 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 51 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 50'de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



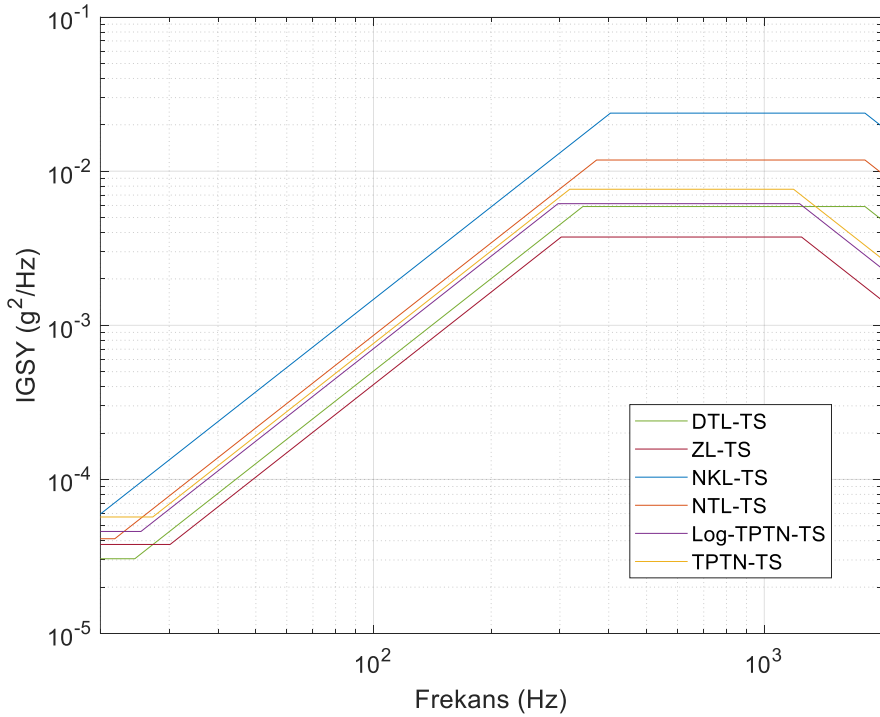
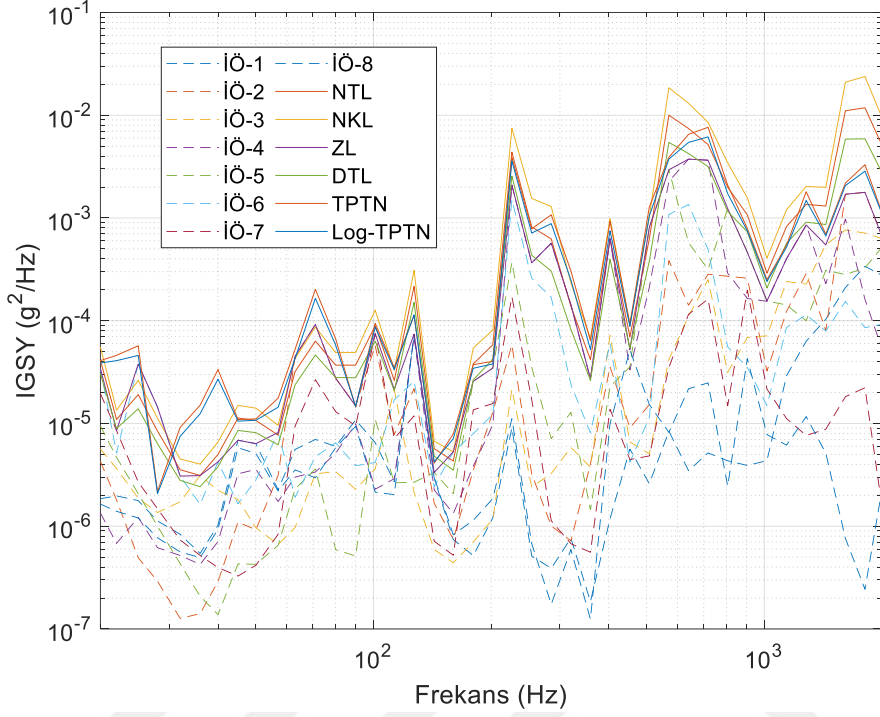
Şekil Ek. 50 : Durum 51 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 52 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 51'de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



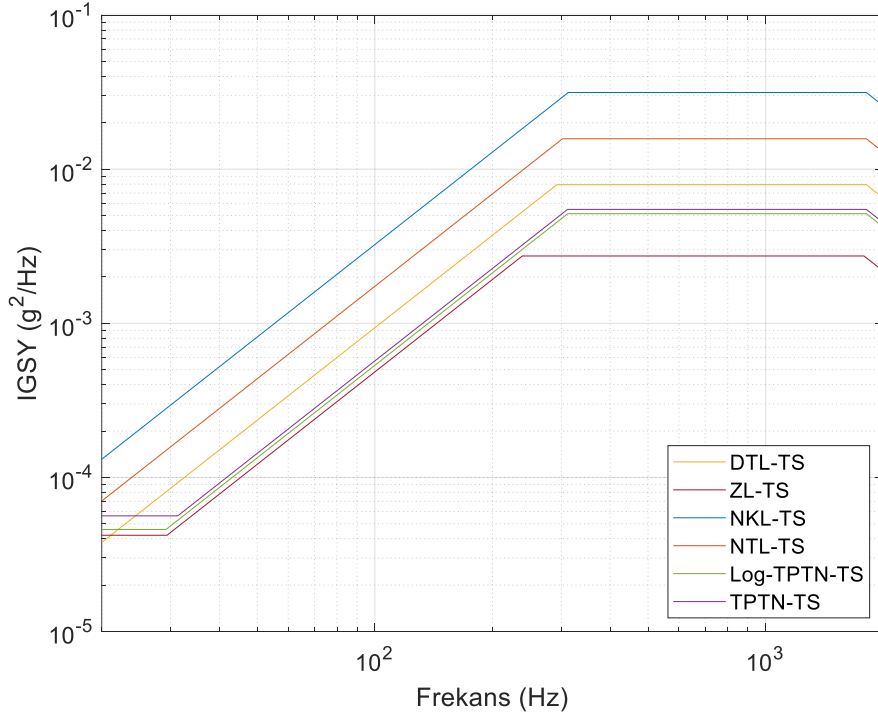
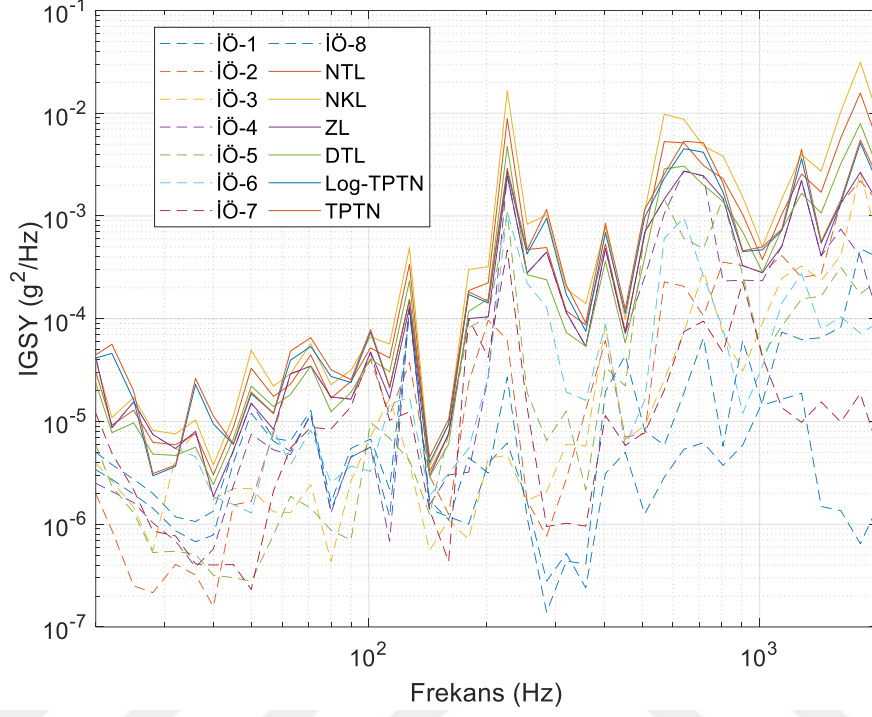
Şekil Ek. 51 : Durum 52 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 53 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 52'de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



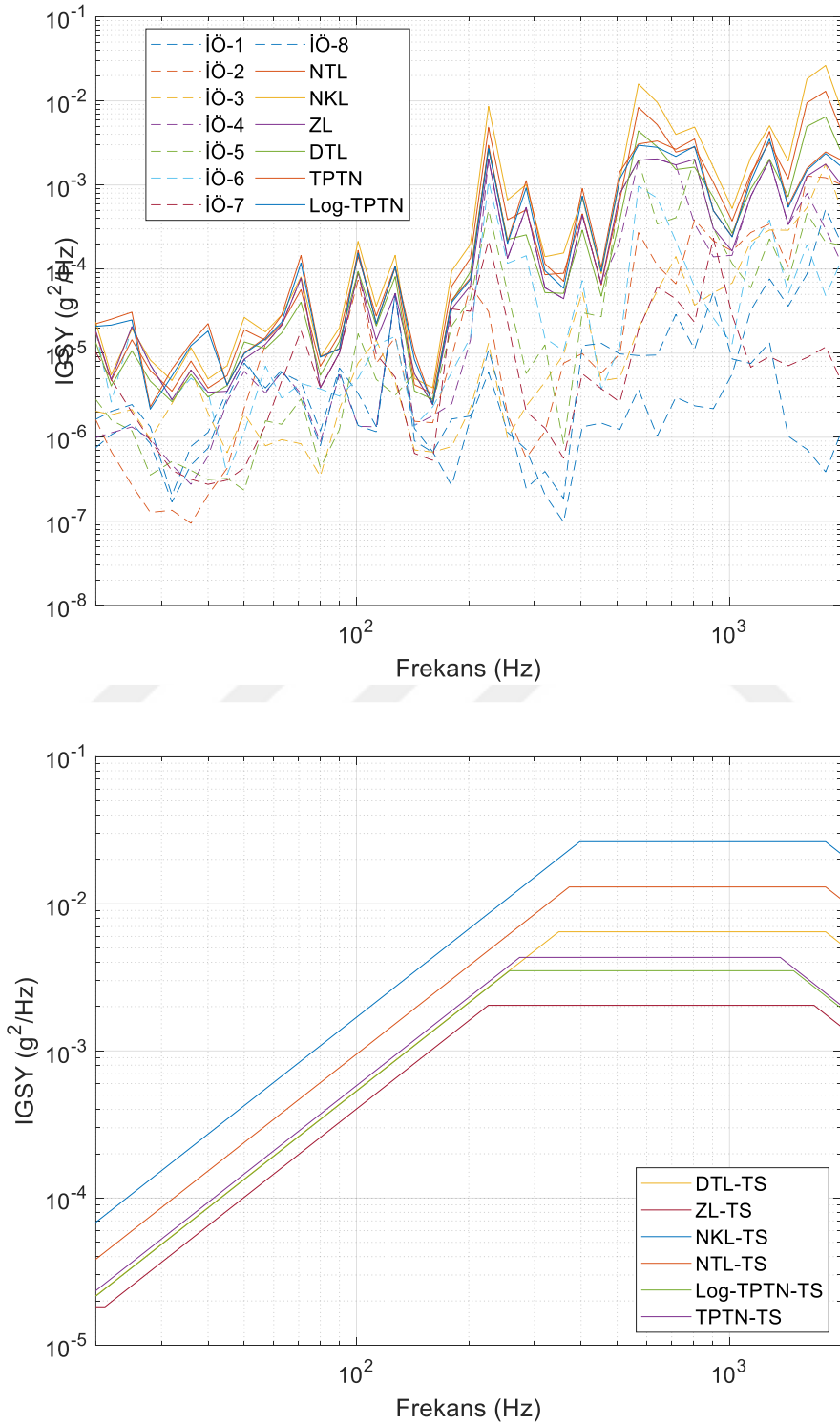
Şekil Ek. 52 : Durum 53 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 54 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 53'te üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



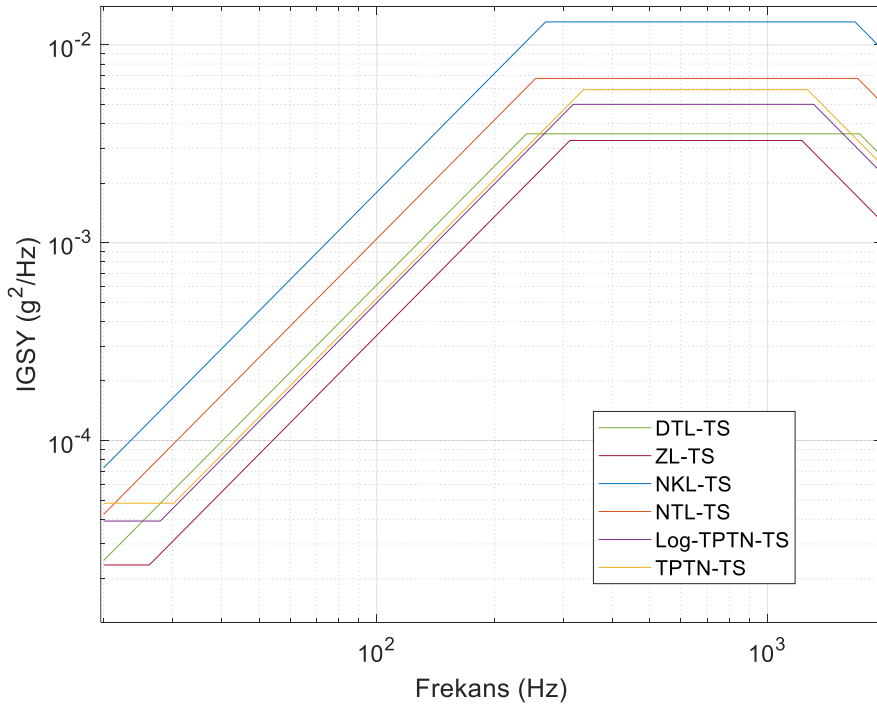
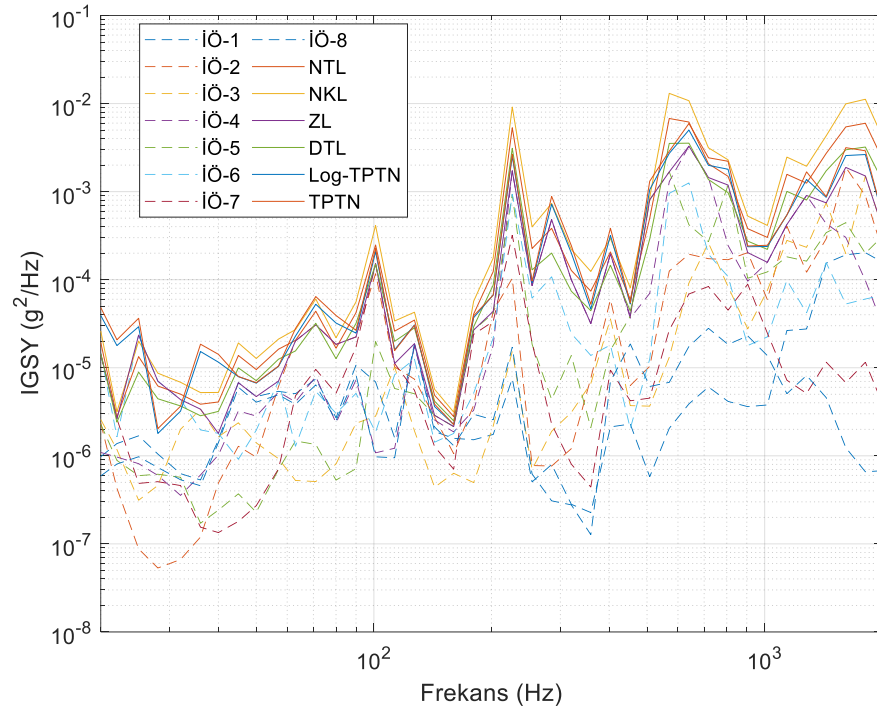
Şekil Ek. 53 : Durum 54 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 55 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 54'te üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



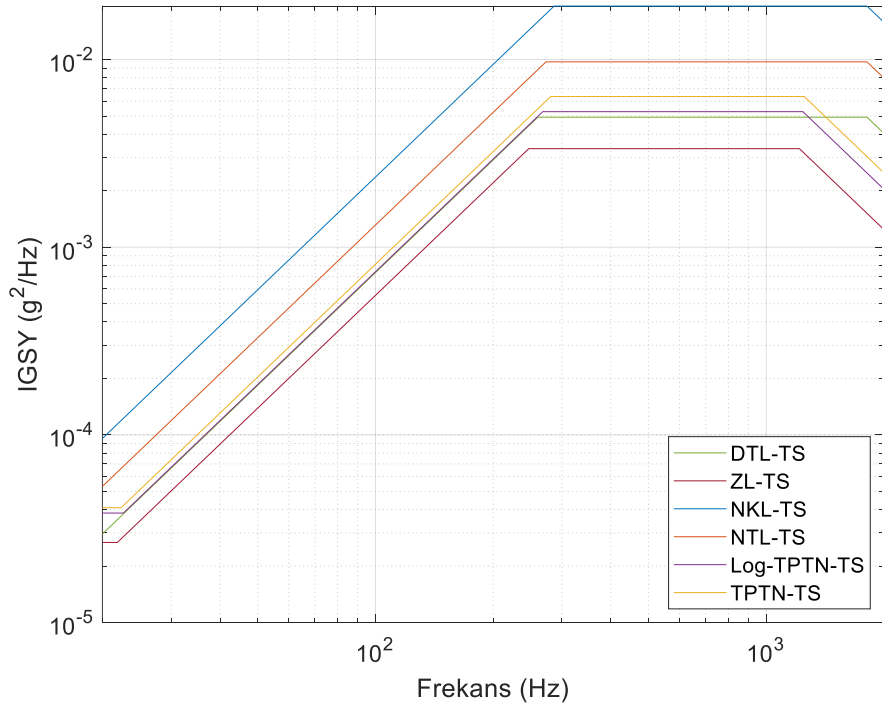
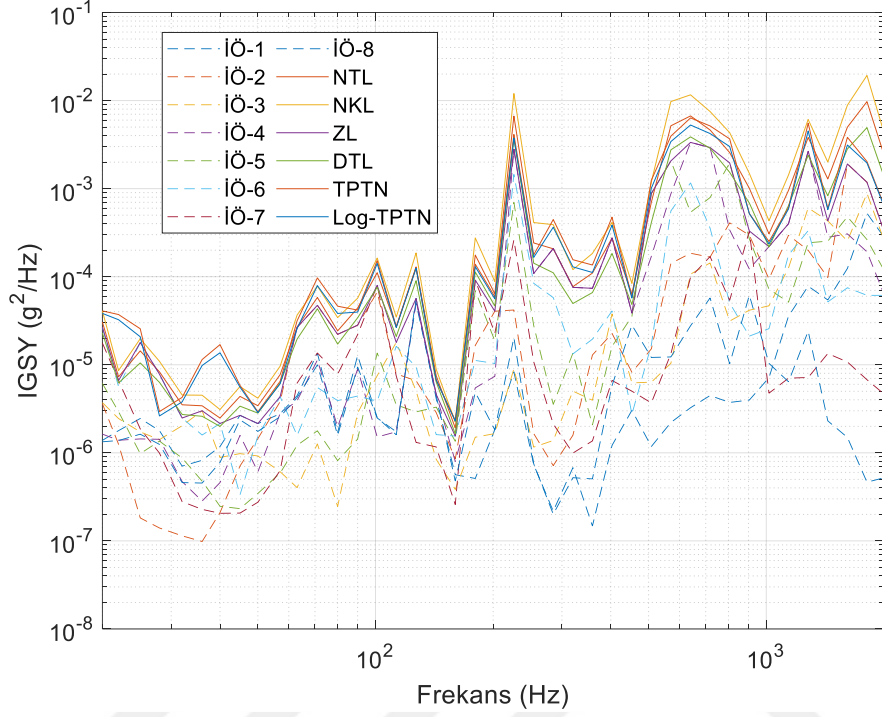
Şekil Ek. 54 : Durum 55 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 56 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 55'te üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



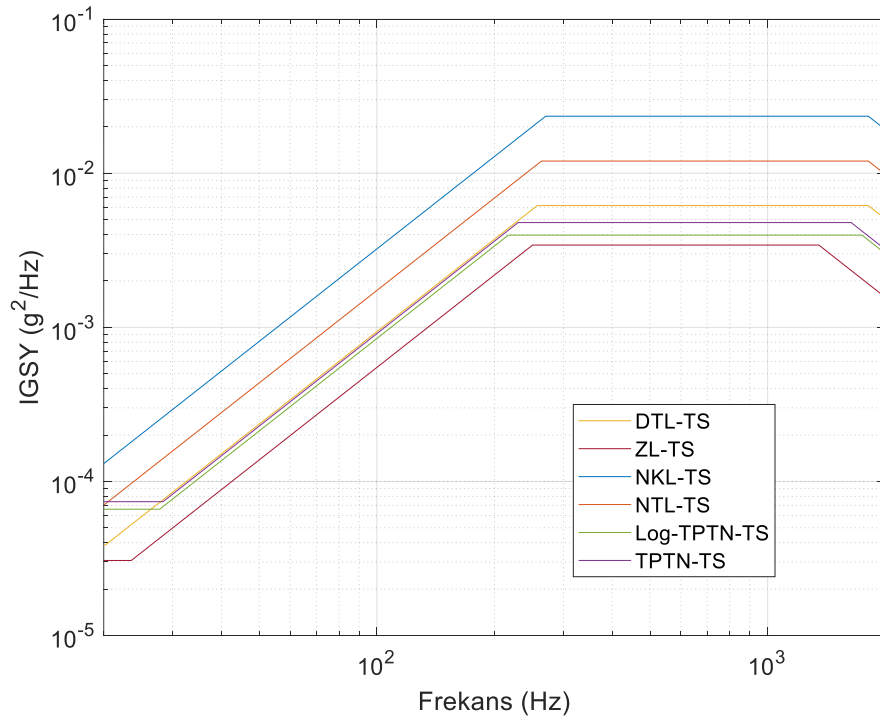
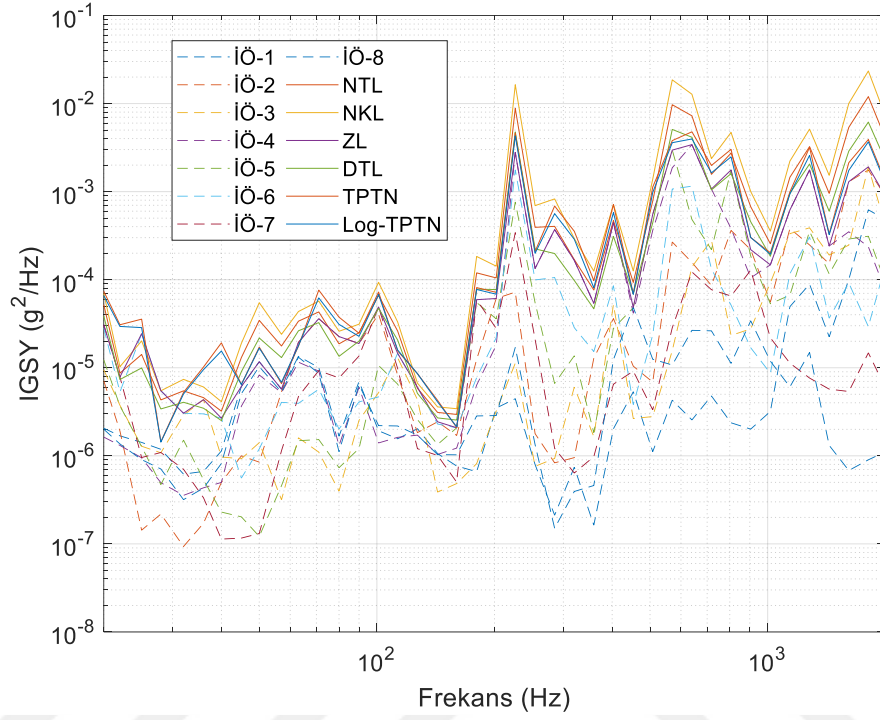
Şekil Ek. 55 : Durum 56 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 57 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 56'da üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



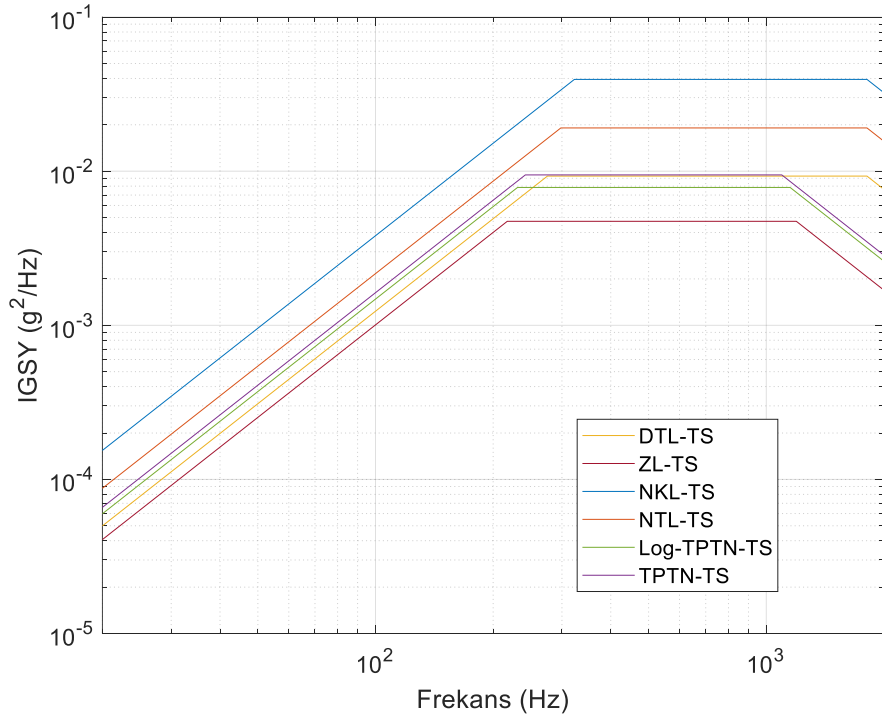
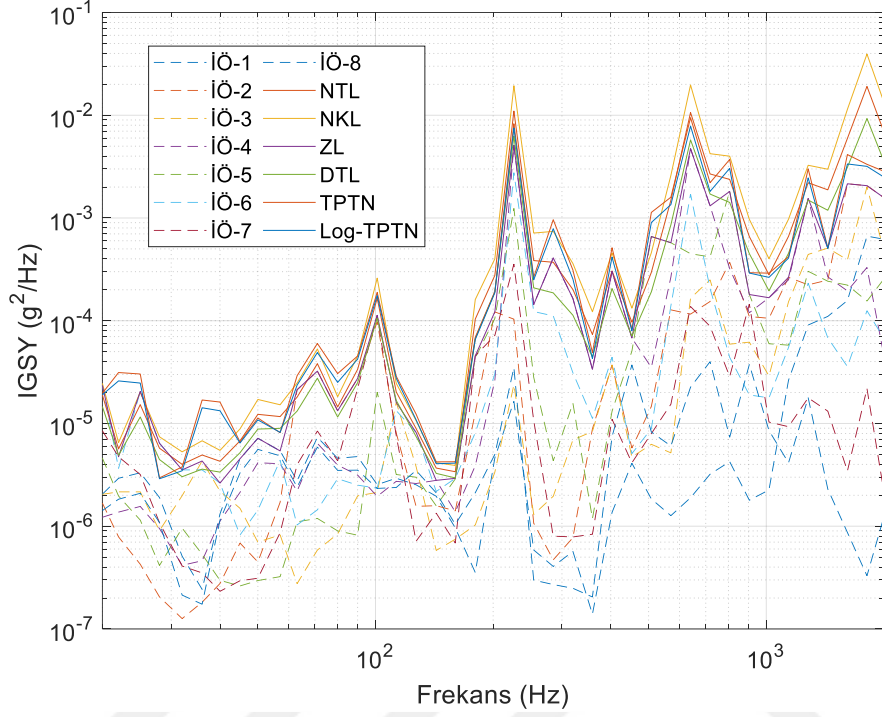
Şekil Ek. 56 : Durum 57 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 58 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 57’de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



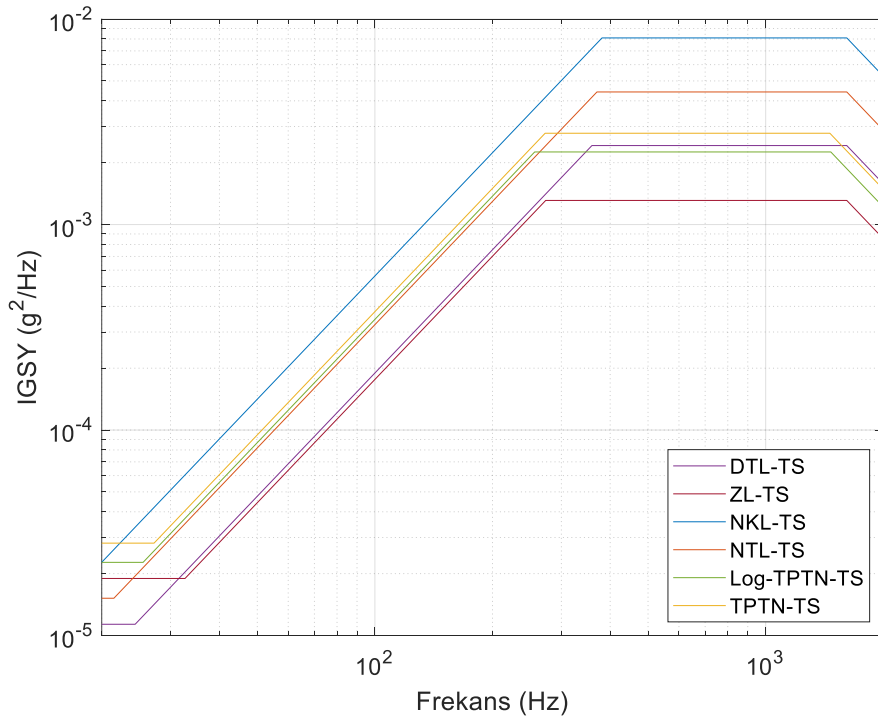
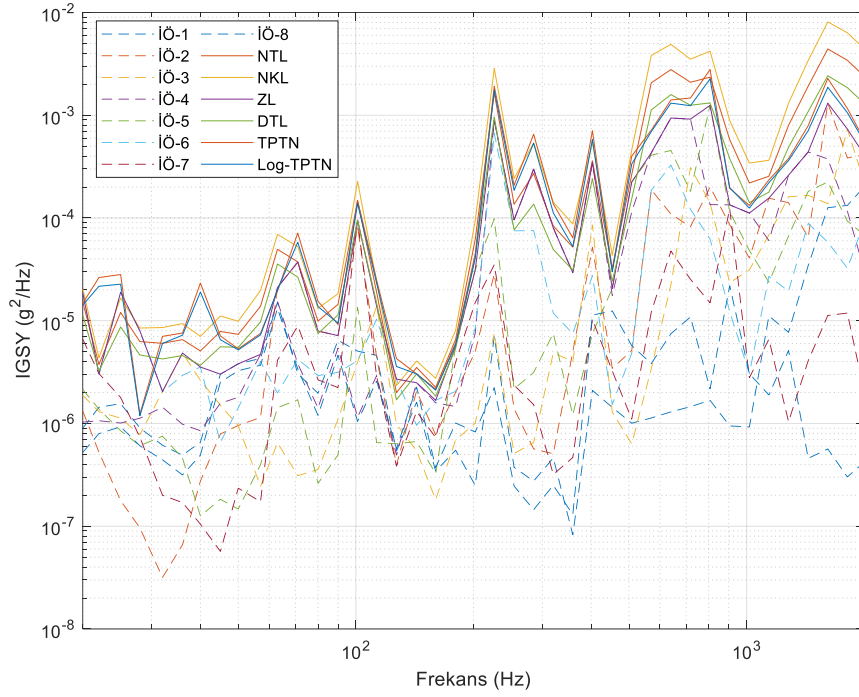
Şekil Ek. 57 : Durum 58 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 59 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 58'de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



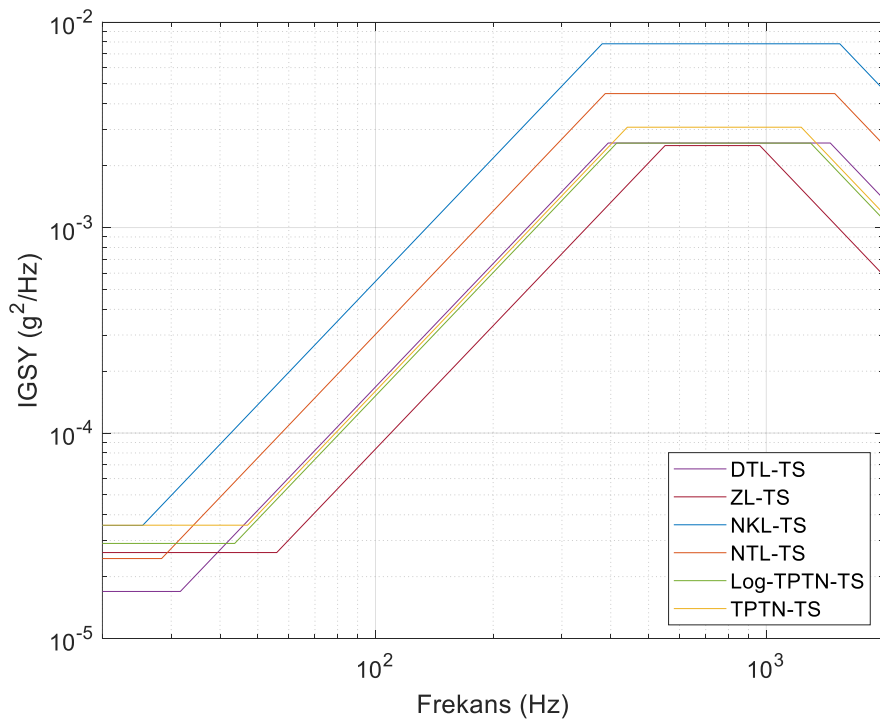
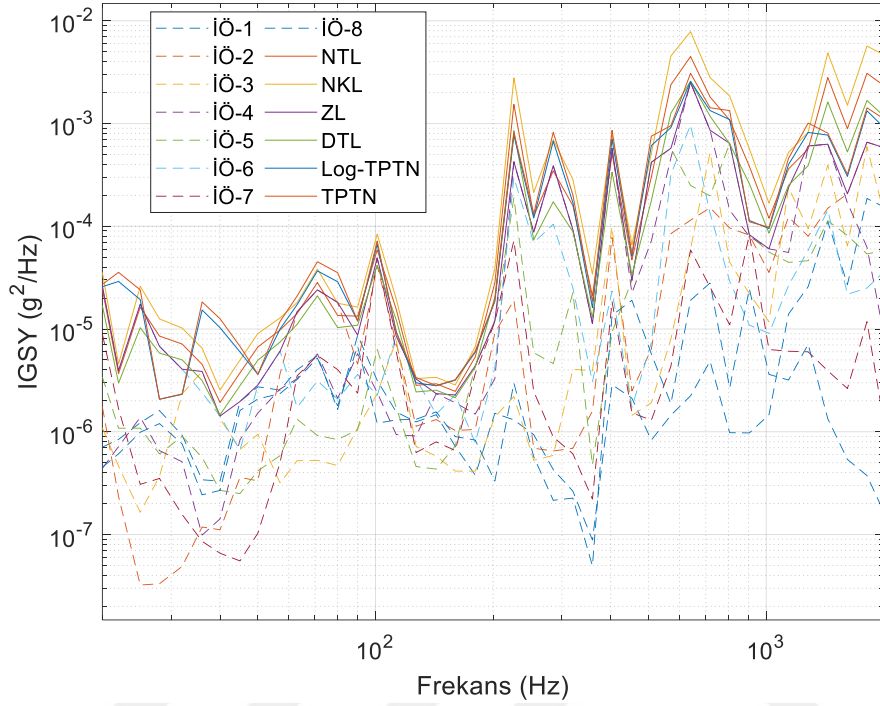
Şekil Ek. 58 : Durum 59 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 60 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 59'da üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



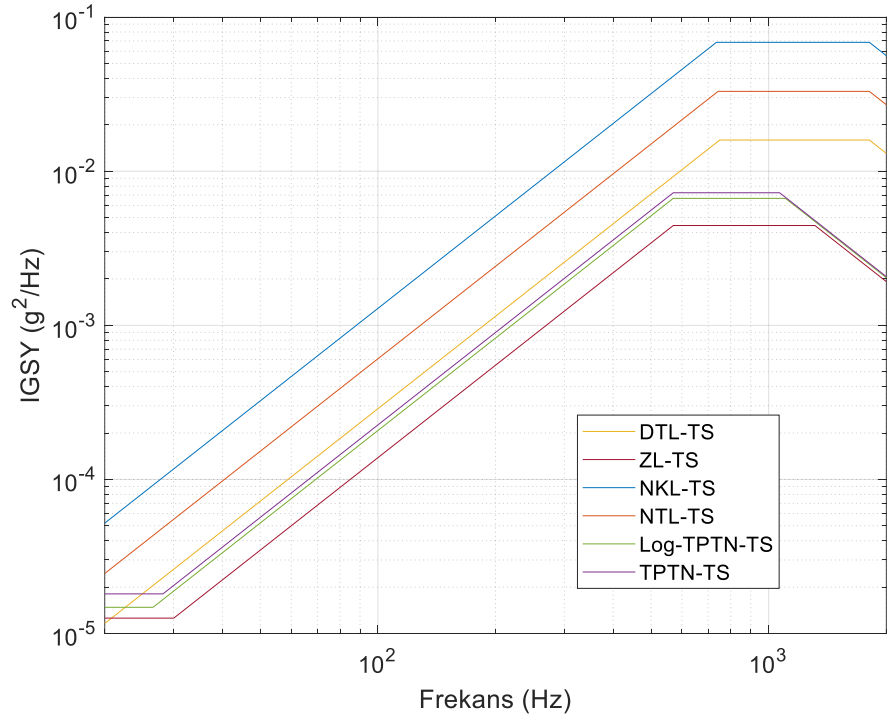
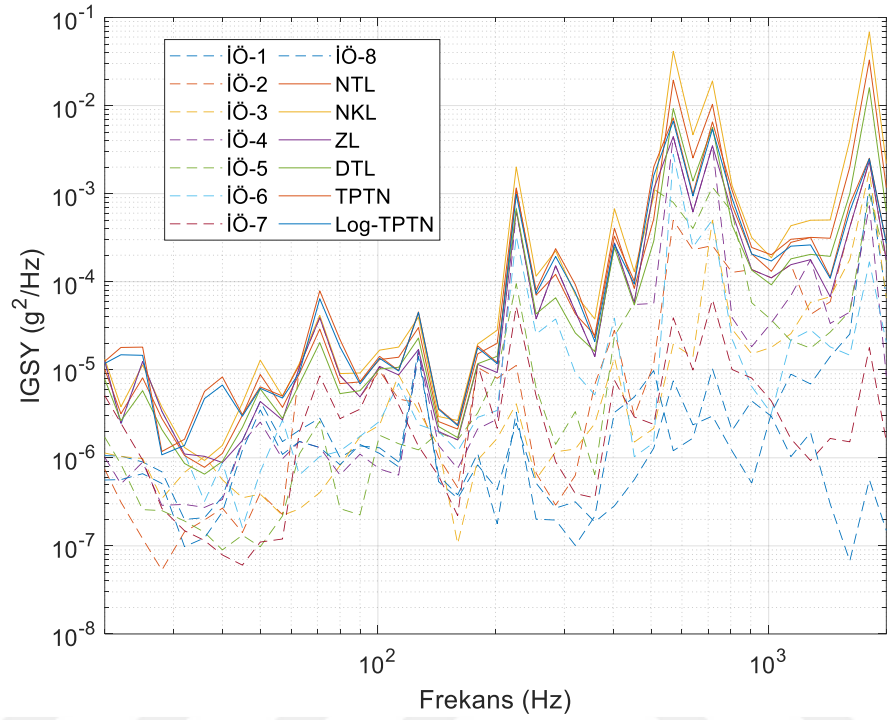
Şekil Ek. 59 : Durum 60 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 61 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 60'da üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



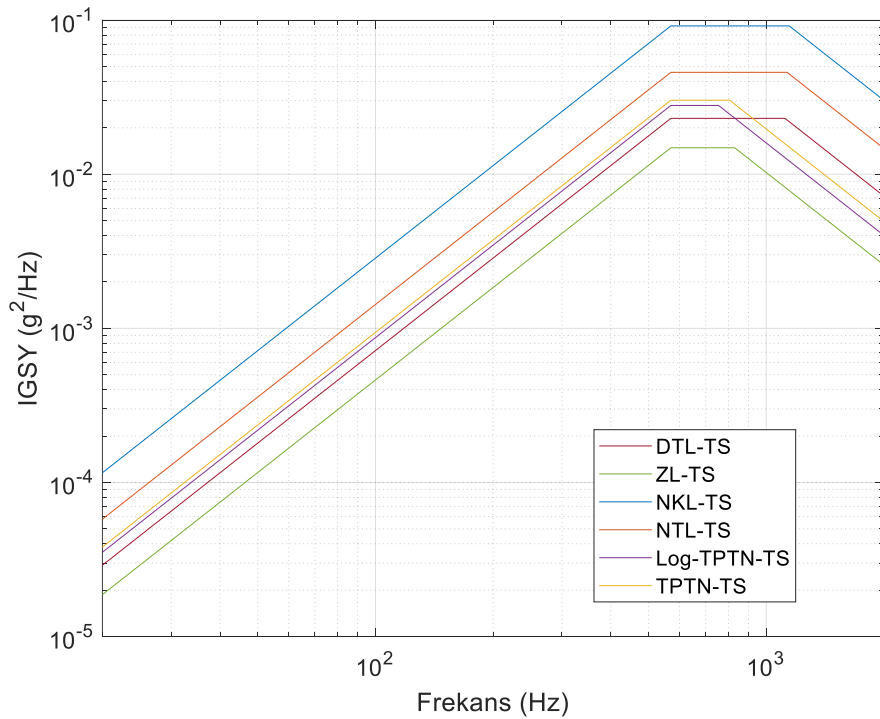
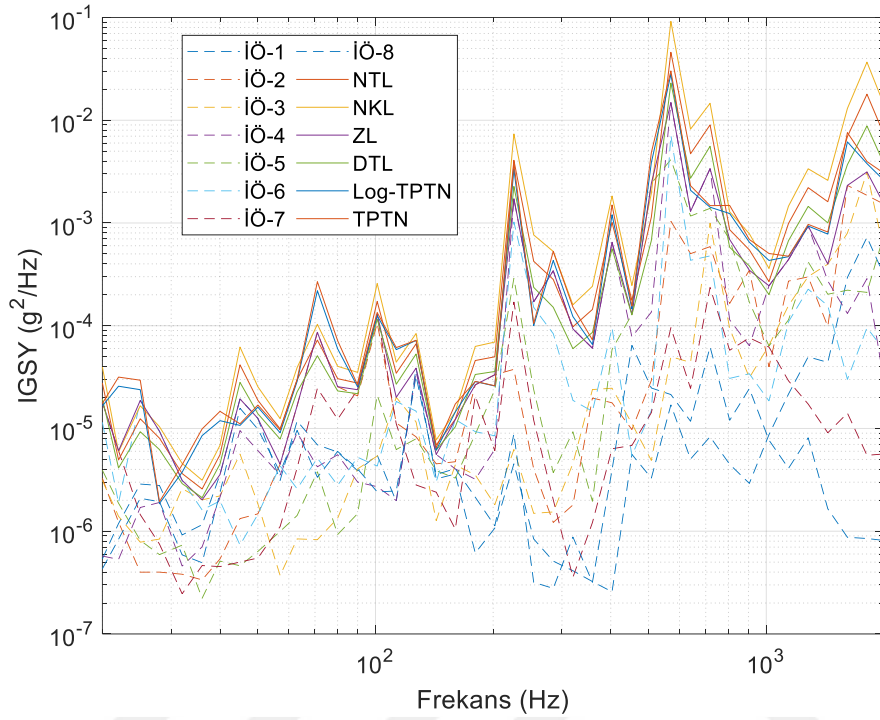
Şekil Ek. 60 : Durum 61 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 62 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 61'de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



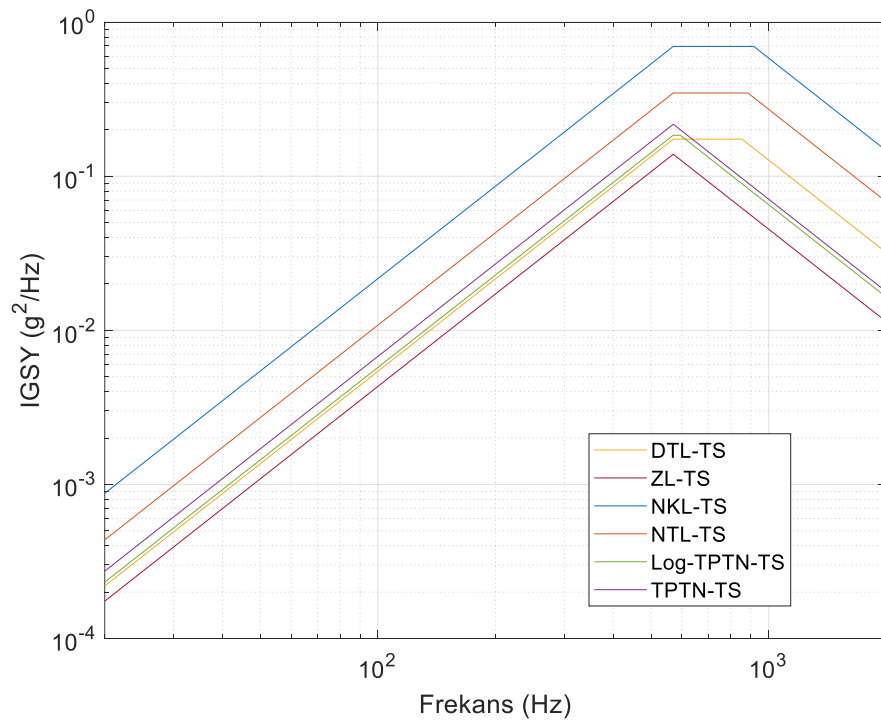
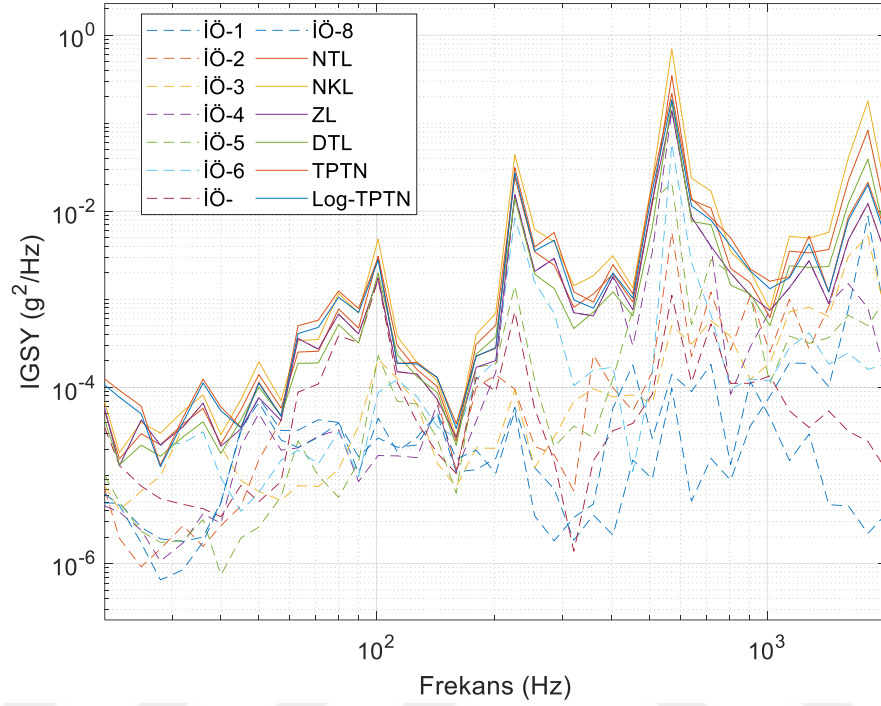
Şekil Ek. 61 : Durum 62 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 63 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 62'de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



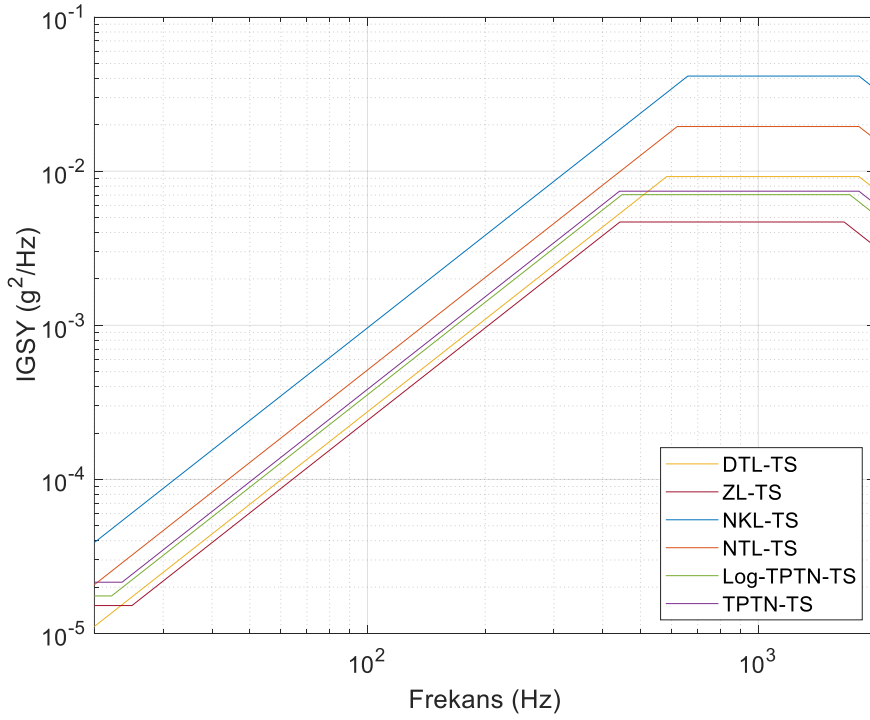
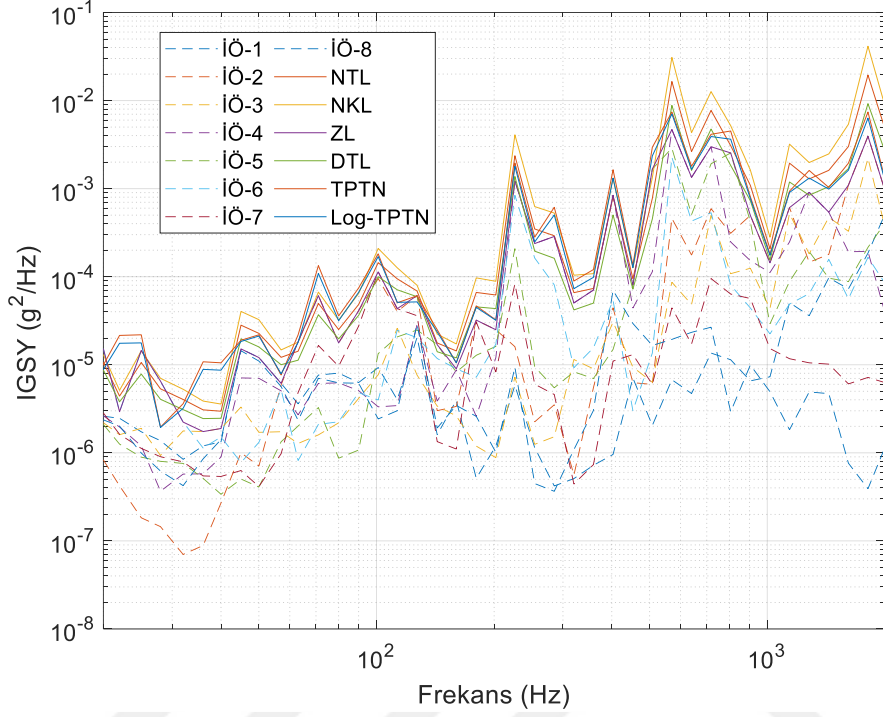
Şekil Ek. 62 : Durum 63 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 64 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 63'te üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



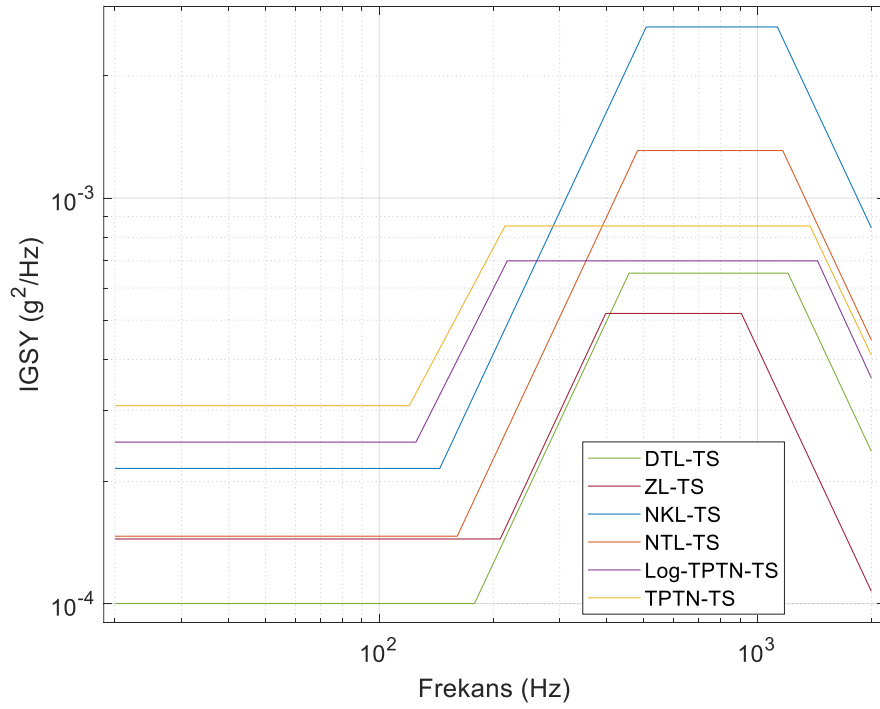
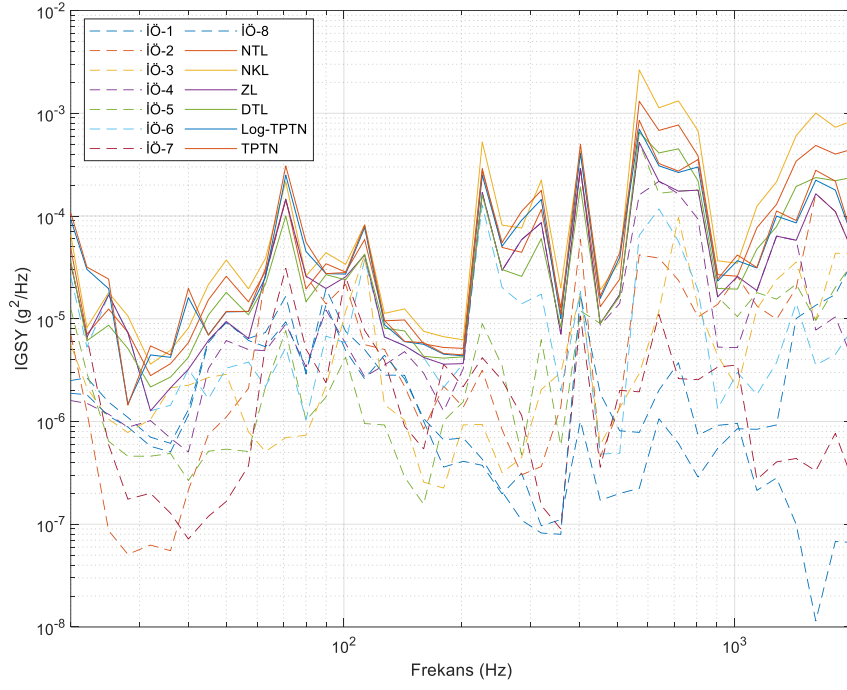
Şekil Ek. 63 : Durum 64 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 65 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 64'te üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



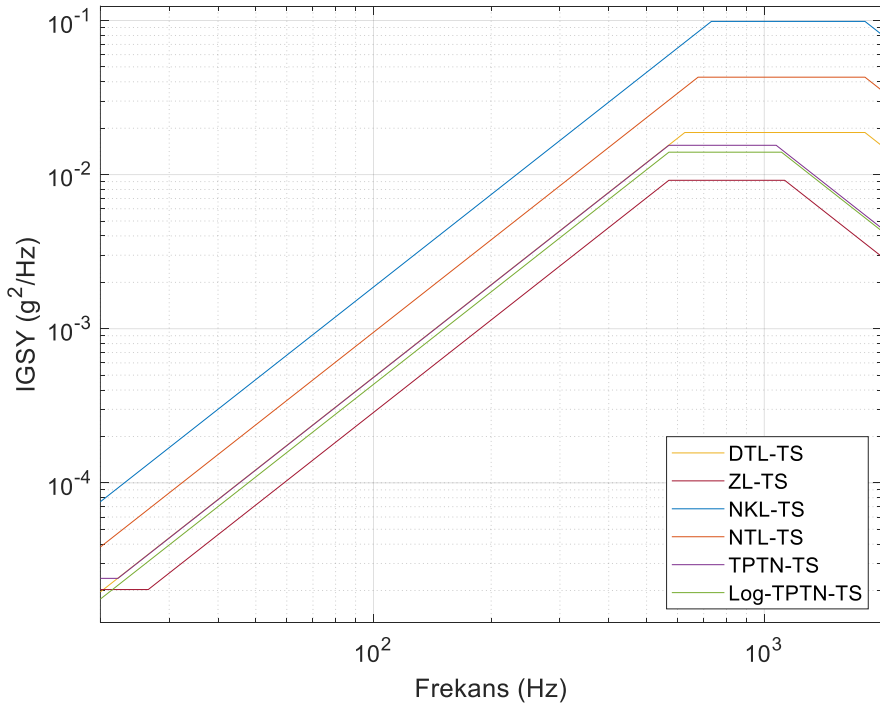
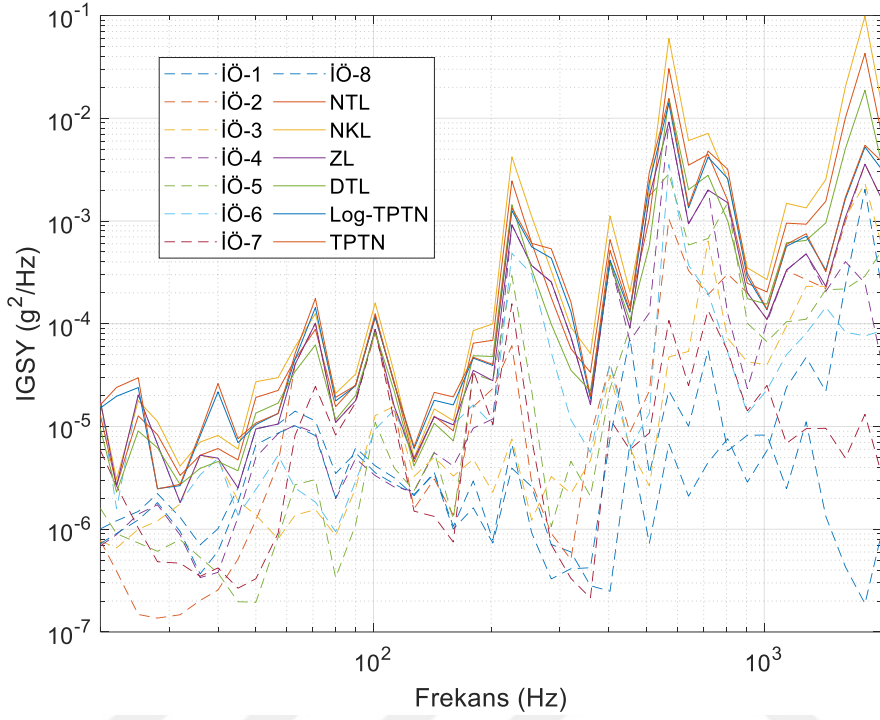
Şekil Ek. 64 : Durum 65 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 66 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 65'te üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



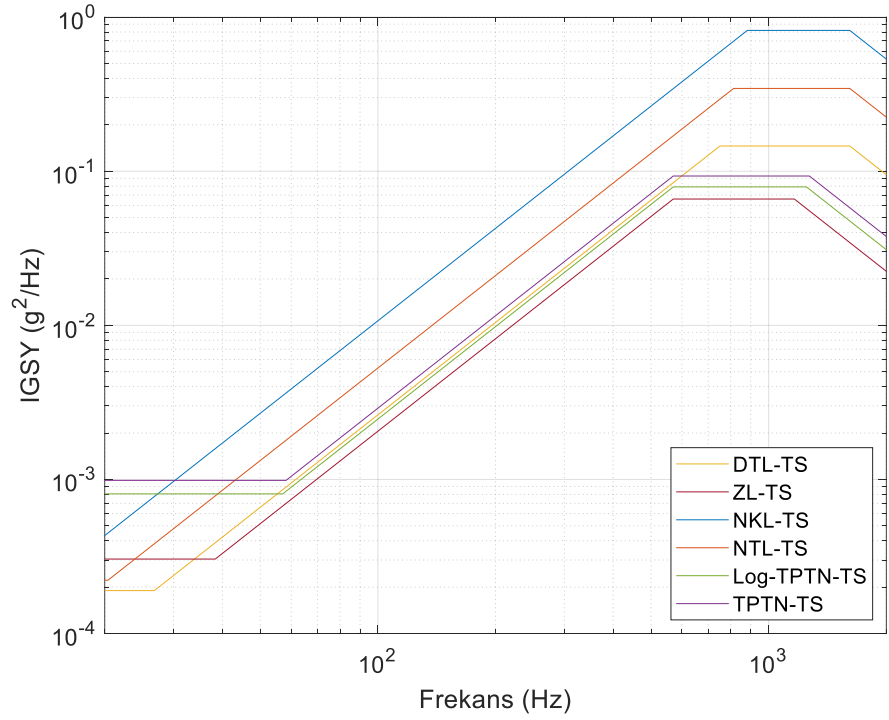
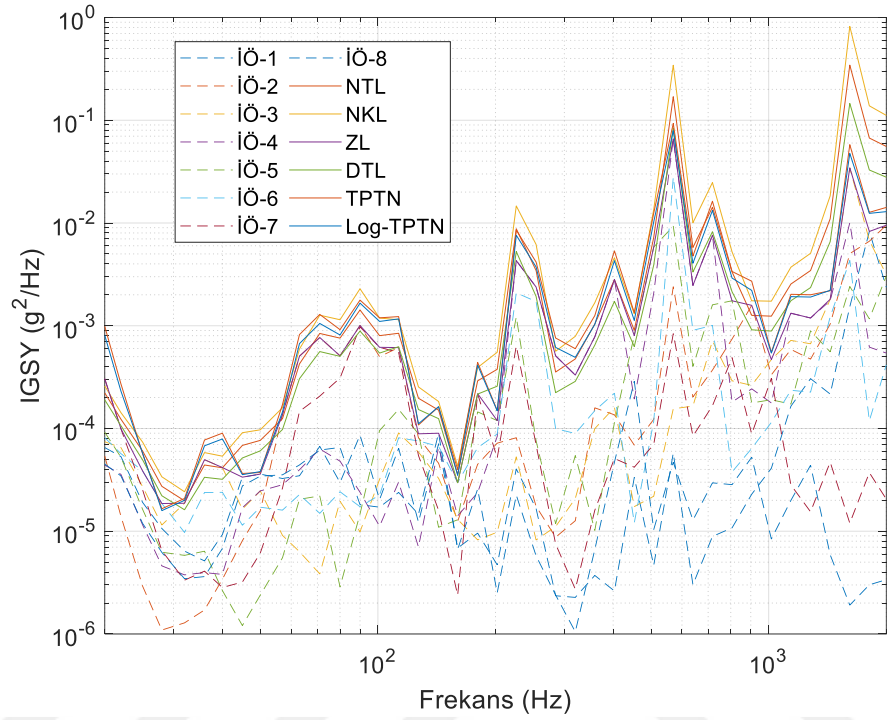
Şekil Ek. 65 : Durum 66 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 67 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 66'da üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



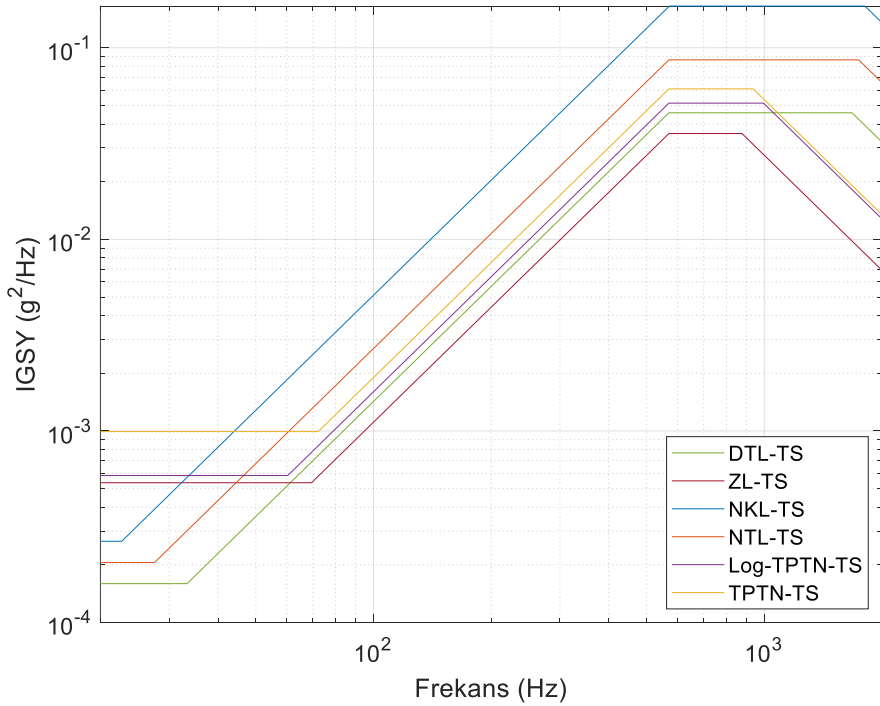
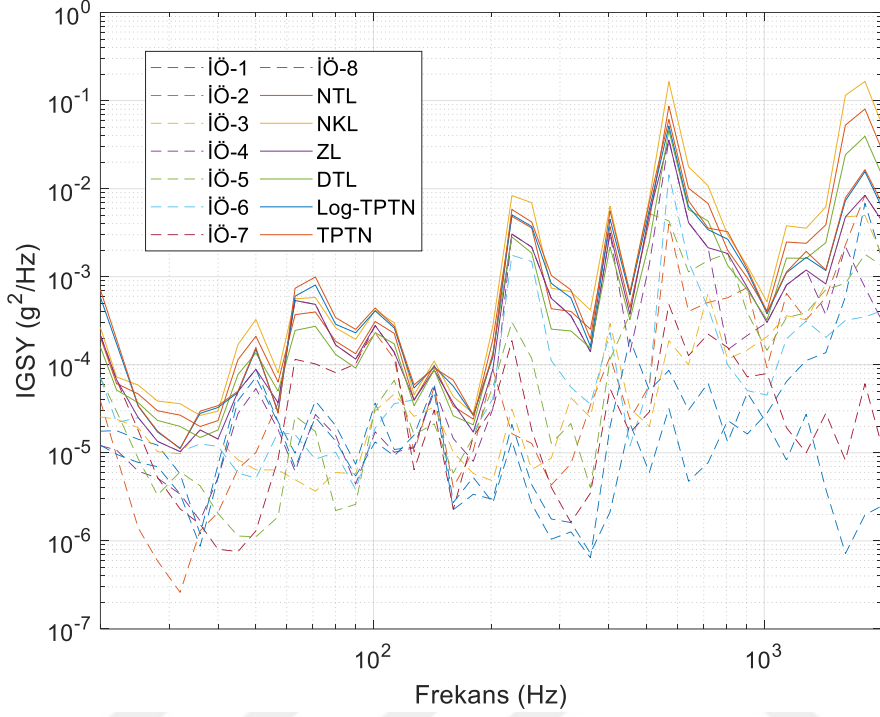
Şekil Ek. 66 : Durum 67 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 68 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 67’de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



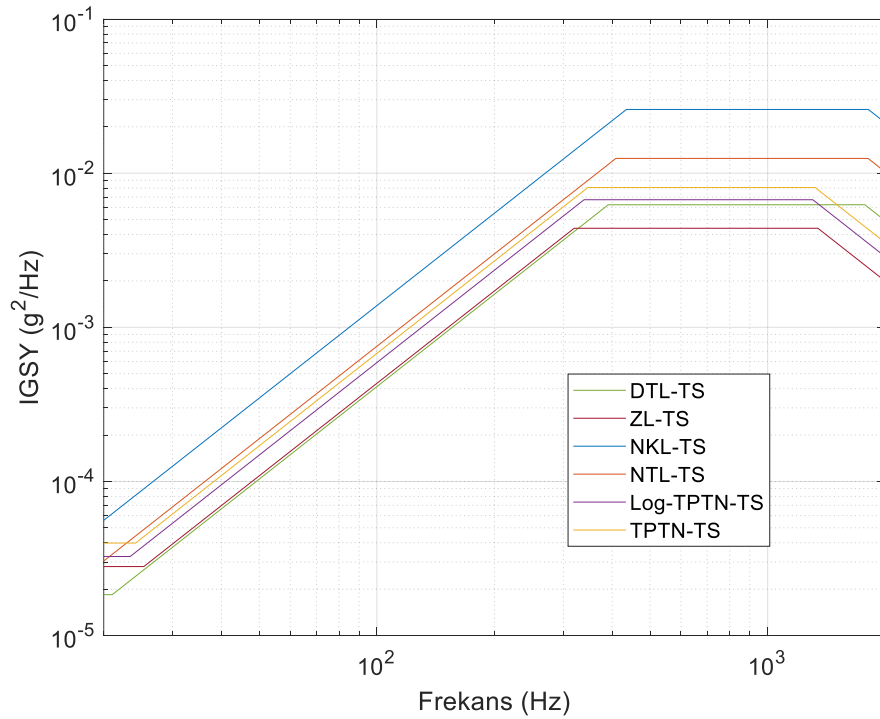
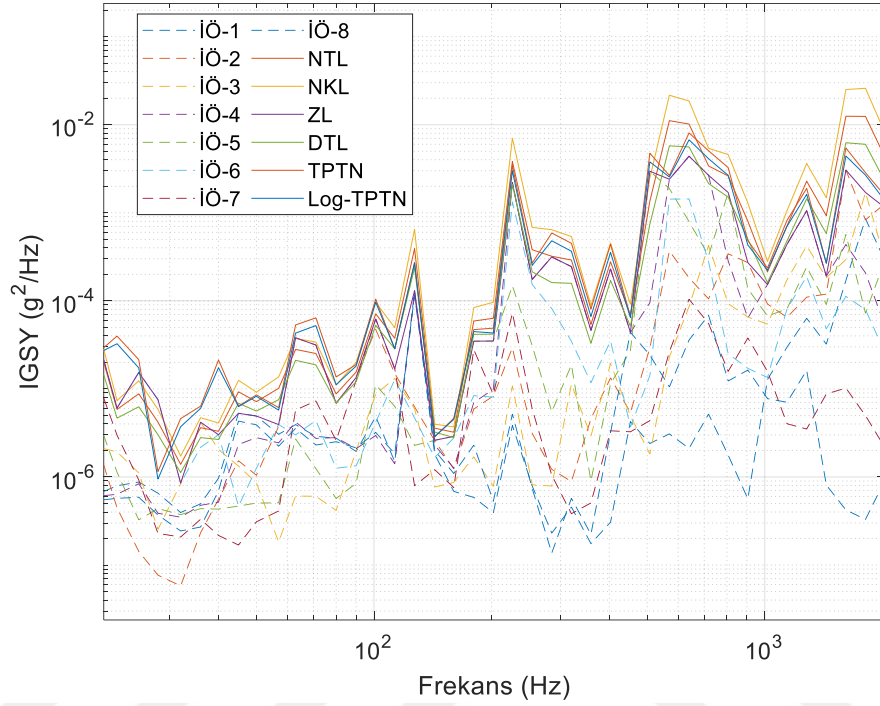
Şekil Ek. 67 : Durum 68 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 69 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 68'de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



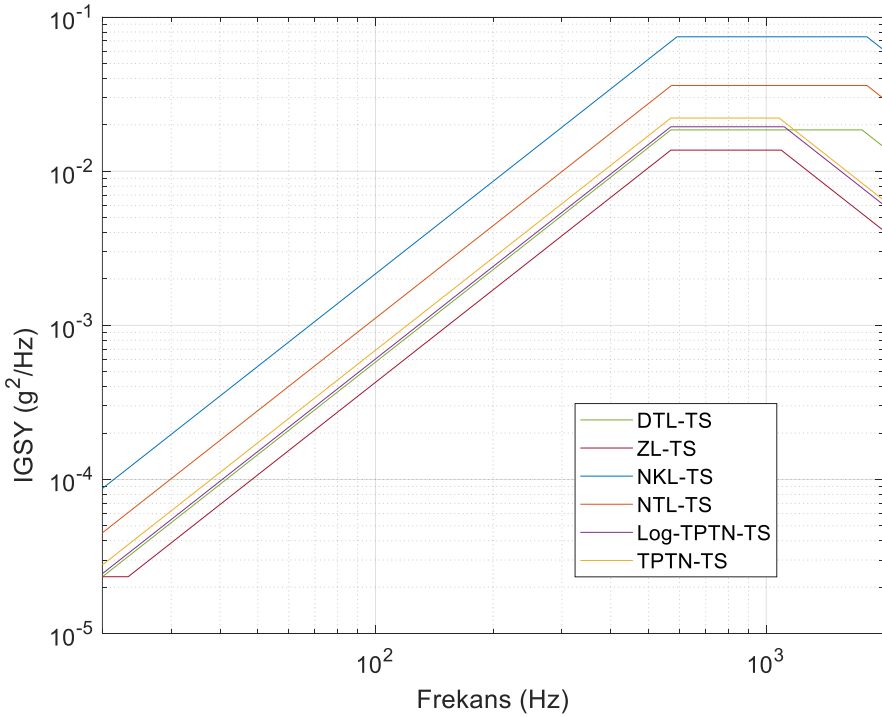
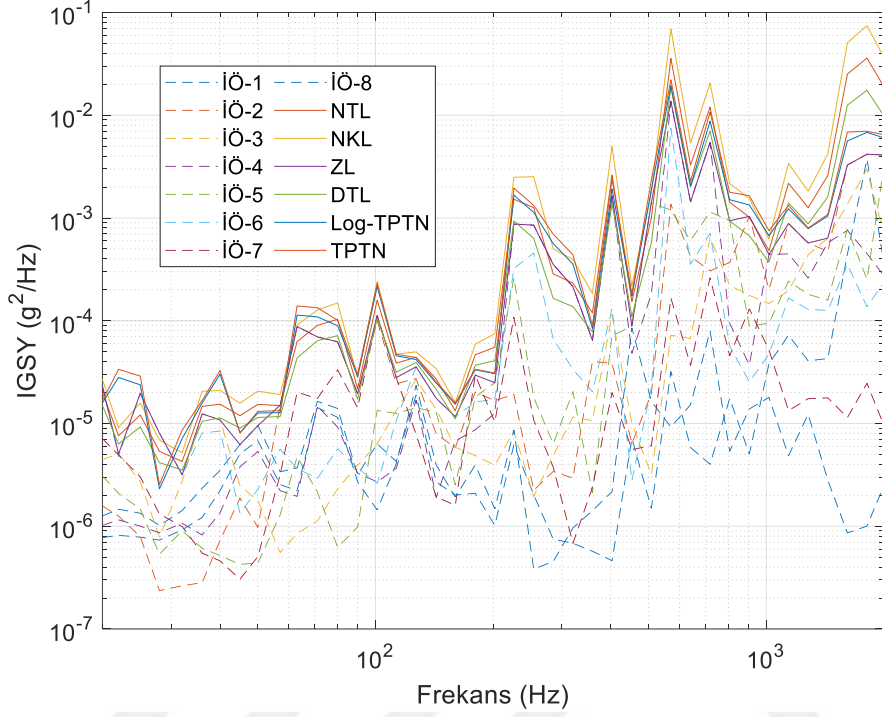
Şekil Ek. 68 : Durum 69 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 70 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 69'da üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



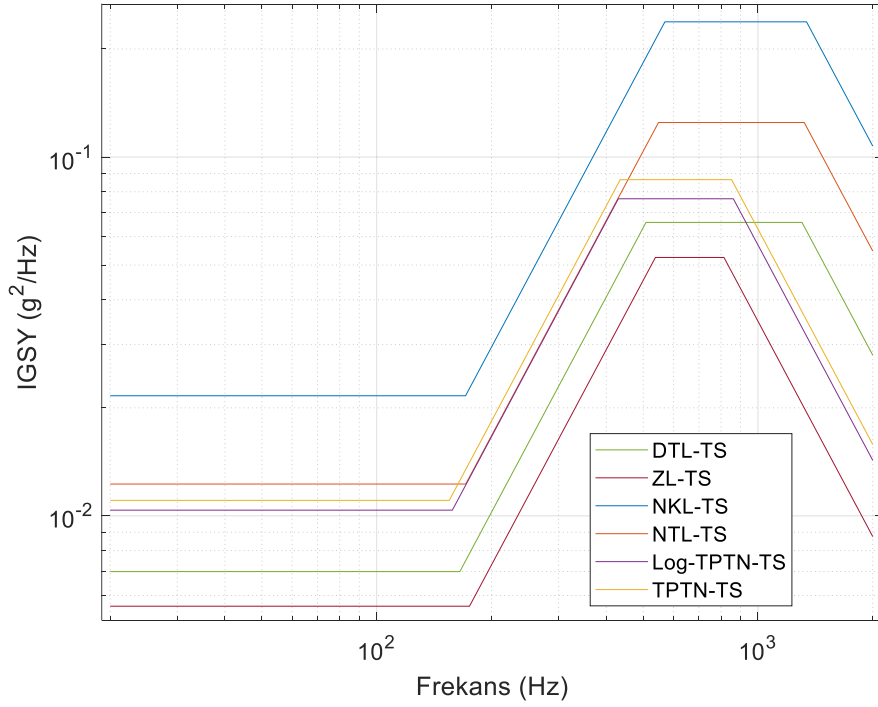
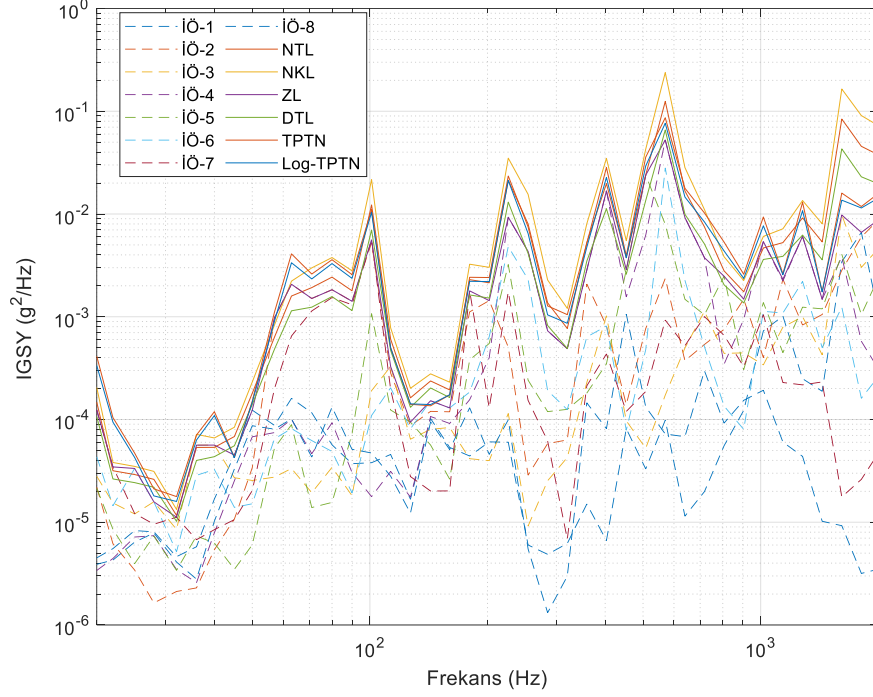
Şekil Ek. 69 : Durum 70 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 71 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 70'te üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



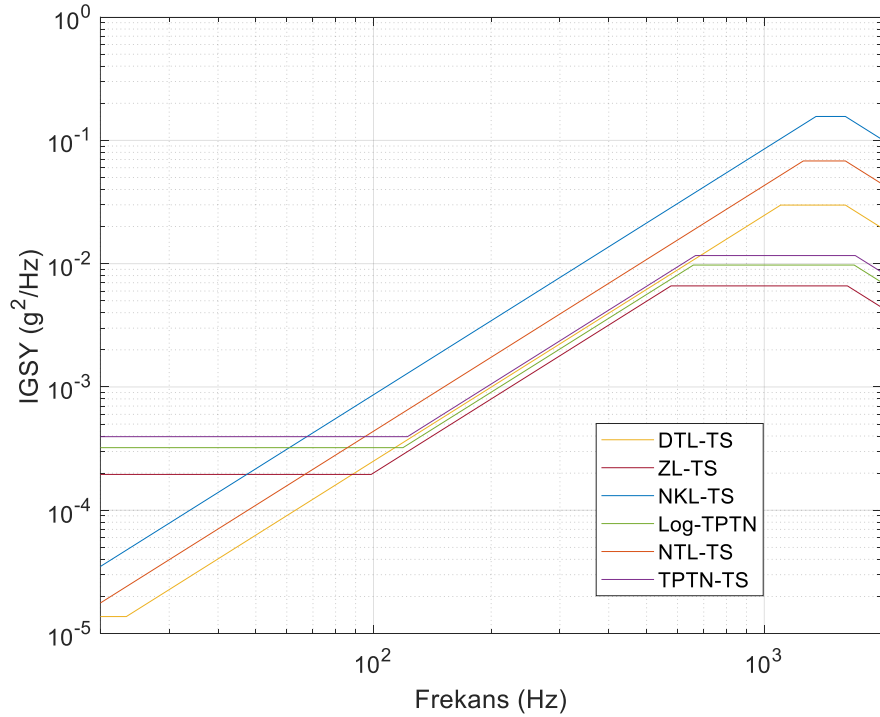
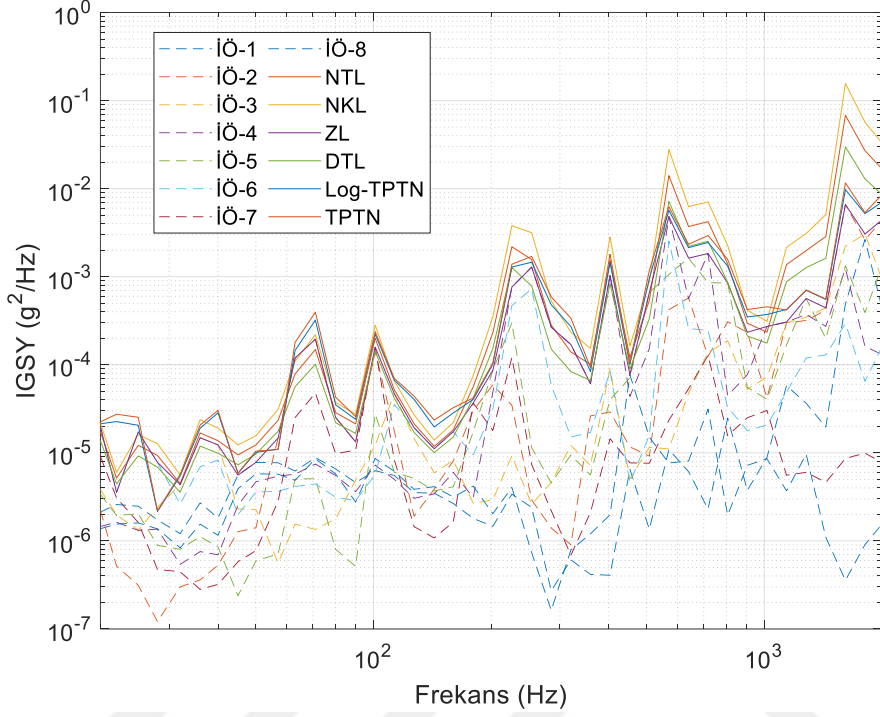
Şekil Ek. 70 : Durum 71 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 72 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 71’de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



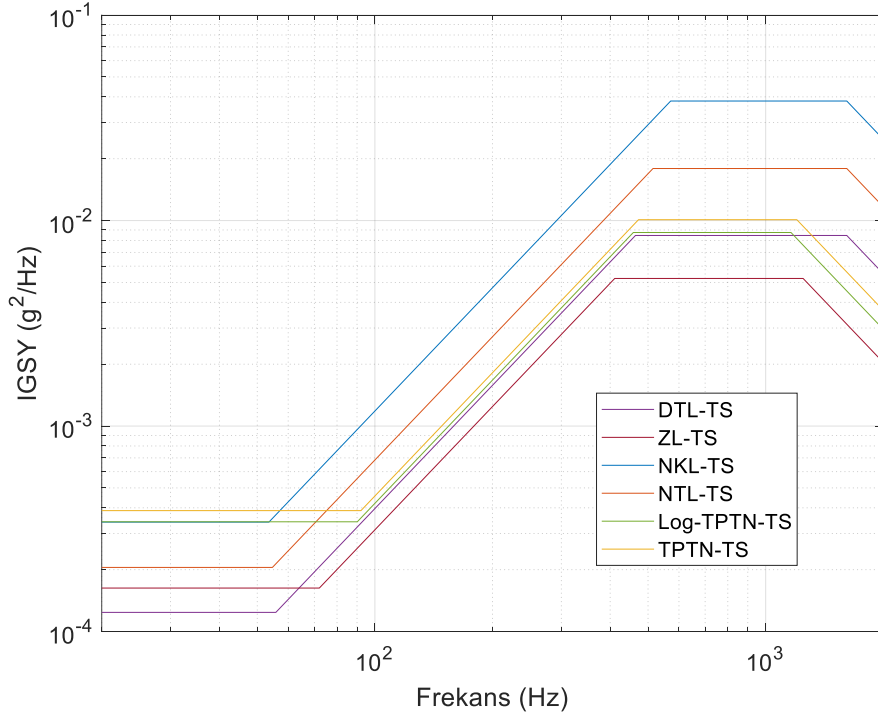
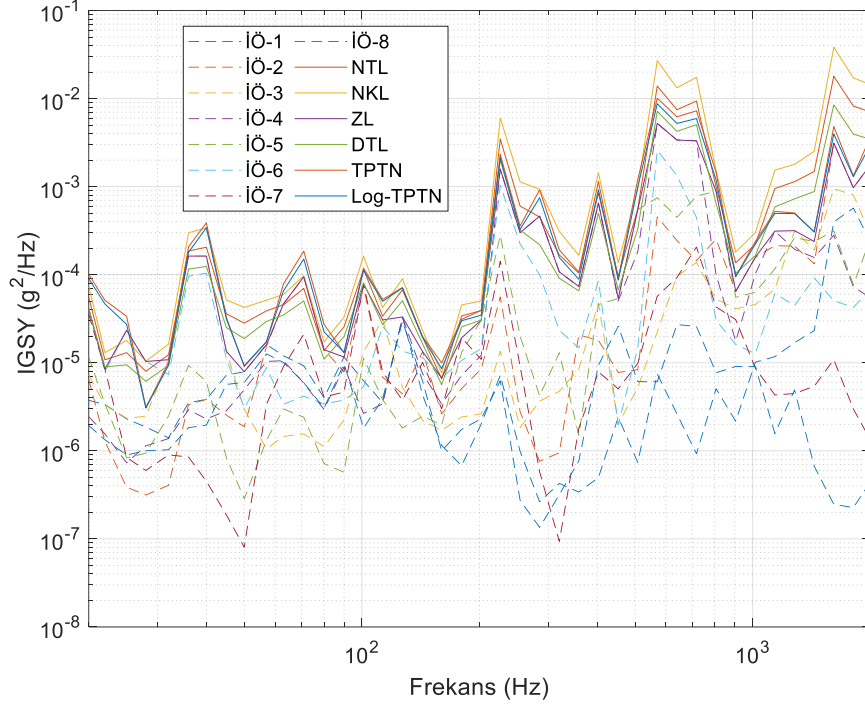
Şekil Ek. 71 : Durum 72 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 73 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 72’de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



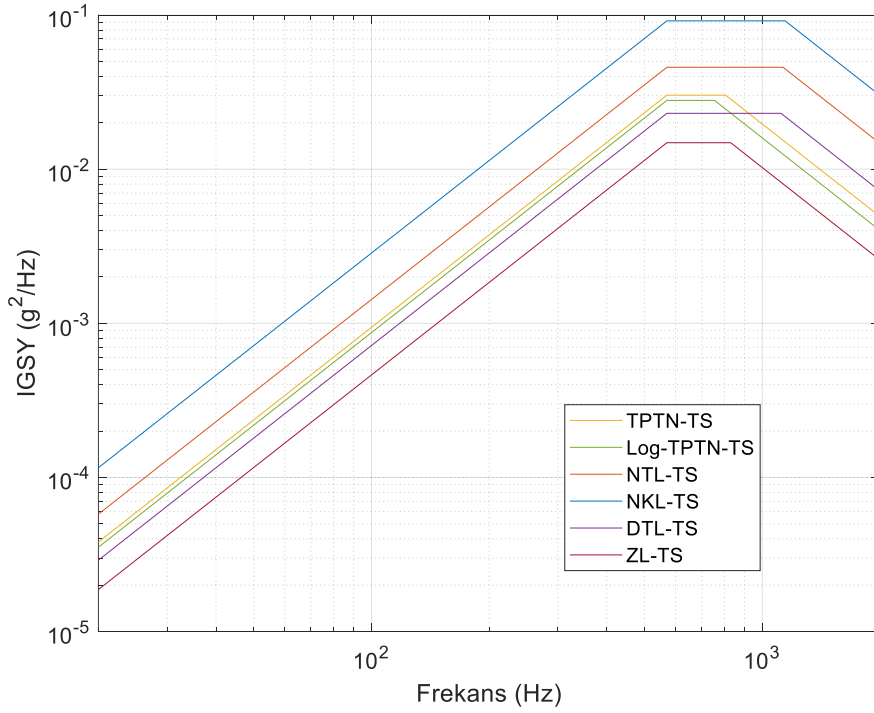
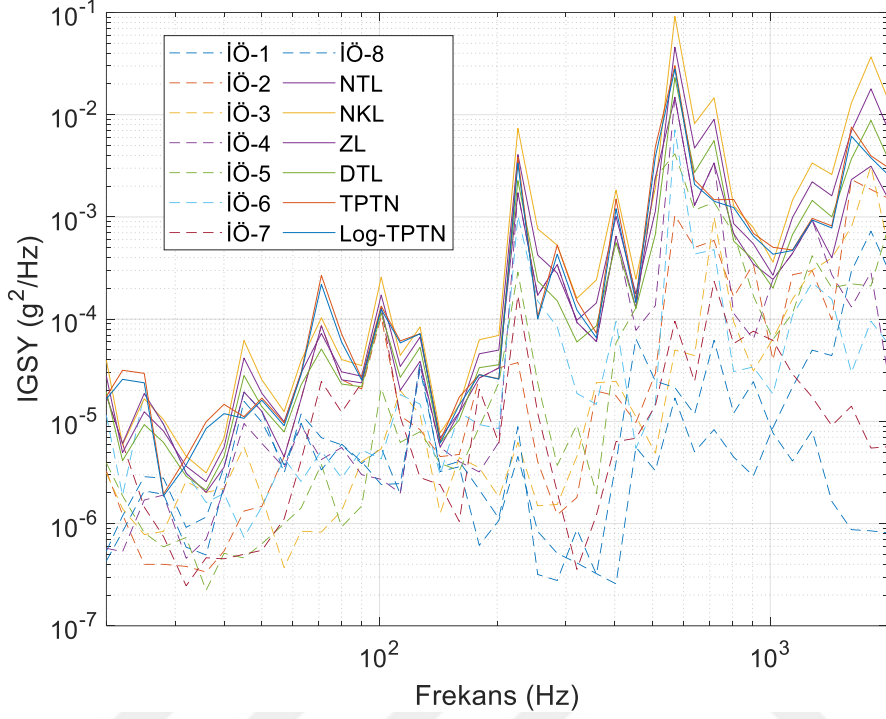
Şekil Ek. 72 : Durum 73 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 74 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 73'te üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



Şekil Ek. 73 : Durum 74 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Durum 75 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 74'te üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



Şekil Ek. 74 : Durum 75 için ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

EK 3

NTL test spektrumlarının tanımlanmasında kullanılan parameter sabitlerinin değerleri

Çizelge Ek. 2'de verilmiştir.

Çizelge Ek. 2 : NTL parametre sabitlerinin değerleri.

Durum	$W_1 (g^2/Hz)$	$W_2 (g^2/Hz)$	$f_1 (Hz)$	$f_2 (Hz)$
1	1.01E-05	0.0121	723	1810
2	2.23E-05	0.0064	351	1510
3	7.41E-04	0.588	570	571
4	8.50E-05	0.0126	553	1318
5	4.32E-05	0.0343	570	1499
6	3.82E-04	0.3031	570	974
7	3.29E-05	0.01273	617	974
8	7.80E-03	0.256	575	888
9	2.10E-03	0.024	377	735
10	3.46E-05	0.0234	570	1481
11	1.44E-05	0.0049	438	1795
12	4.50E-03	0.1357	570	1177
13	1.67E-04	0.1326	570	1243
14	2.56E-04	0.01707	615	1810
15	9.87E-05	0.0783	570	1019
16	1.05E-05	0.00236	627	1810
17	5.95E-05	0.0117	434	1810
18	7.03E-05	0.0306	422	1393
19	6.09E-05	0.03206	816	1613
20	4.91E-05	0.0181	642	1586
21	1.79E-04	0.0094	549	863
22	2.57E-05	0.01256	640	765
23	6.45E-05	0.0512	570	773
24	4.06E-04	0.03045	570	1369
25	4.47E-05	0.00365	805	2000
26	5.29E-05	0.04881	615	1810
27	1.24E-03	0.00892	359	1448
28	2.78E-05	0.0054	717	1613
29	7.19E-05	0.00587	953	1857
30	6.37E-05	0.2606	1297	1810
31	8.10E-05	0.0643	570	859
32	1.80E-04	0.1191	647	1810
33	1.10E-04	0.0858	570	1611
34	2.18E-04	0.0724	570	1614
35	1.65E-04	0.1362	570	975
36	3.89E-04	0.3091	570	1021
37	7.59E-05	0.212	1071	1810
38	1.69E-05	0.00176	226	1810
39	9.52E-04	0.02227	472	1538

40	4.27E-04	0.2505	570	898
41	1.26E-04	0.08851	570	1403
42	3.17E-05	0.01993	570	1576
43	3.91E-05	0.07137	866	1810
44	3.52E-05	0.02797	570	1142
45	4.07E-05	0.02205	525	1810
46	5.71E-05	0.03657	570	1480
47	5.00E-05	0.03723	697	1810
48	5.89E-05	0.0546	616	1810
49	9.39E-05	0.07452	570	1147
50	4.47E-05	0.03549	570	1084
51	5.32E-05	0.03457	1188	1613
52	5.69E-05	0.01271	302	1294
53	4.12E-05	0.01182	372	1810
54	7.03E-05	0.01575	302	1810
55	3.84E-05	0.013	372	1810
56	4.23E-05	0.00677	255	1700
57	5.31E-05	0.00972	273	1810
58	7.02E-05	0.01198	264	1810
59	8.75E-05	0.01908	298	1810
60	1.52E-05	0.00442	370	1613
61	2.45E-05	0.00449	387	1498
62	2.45E-05	0.03295	742	1810
63	5.78E-05	0.04586	570	1130
64	4.37E-04	0.3468	570	885
65	2.07E-05	0.01949	620	1810
66	1.47E-04	0.00131	482	1166
67	3.83E-05	0.04287	677	1810
68	2.22E-04	0.3444	813	1613
69	2.06E-04	0.08645	570	1744
70	3.05E-05	0.01247	409	1806
71	4.50E-05	0.03599	572	1810
72	1.23E-02	0.1248	1322	548
73	1.77E-05	0.06809	1258	1613
74	2.05E-04	0.01792	520	1613
75	3.06E-05	0.02401	666	1613

DTL test spektrumlarının tanımlanmasında kullanılan parameter sabitlerinin değerleri Çizelge Ek. 3'te verilmiştir.

Çizelge Ek. 3 : DTL parametre sabitlerinin değerleri.

Durum	$W_1 (g^2/Hz)$	$W_2 (g^2/Hz)$	$f_1 (Hz)$	$f_2 (Hz)$
1	7.40E-06	0.0058	650	1810
2	1.65E-05	0.0033	332	1461
3	3.52E-04	0.2796	570	571
4	6.71E-05	0.0064	513	1317

5	2.32E-05	0.0184	570	1402
6	1.90E-04	0.1508	570	923
7	2.32E-05	0.0069	602	945
8	5.10E-03	0.1322	559	885
9	1.20E-03	0.0125	338	789
10	2.38E-05	0.0116	570	1470
11	1.06E-05	0.0026	414	1810
12	2.64E-03	0.07211	570	1119
13	1.12E-04	0.06882	570	1189
14	1.88E-04	0.00857	579	1810
15	5.03E-05	0.03993	570	976
16	6.88E-06	0.00125	564	1810
17	4.20E-05	0.0058	401	1785
18	3.64E-05	0.0161	425	1352
19	5.65E-05	0.0141	739	1613
20	1.33E-04	0.0097	628	1524
21	1.27E-04	0.0053	545	855
22	1.99E-05	0.0068	640	833
23	3.21E-05	0.0254	570	783
24	2.26E-04	0.01578	570	1319
25	3.25E-05	0.00192	812	2000
26	4.19E-05	0.02294	591	1810
27	7.69E-04	0.00468	322	1478
28	1.93E-05	0.0028	649	1613
29	5.24E-05	0.00283	866	1887
30	3.37E-05	0.1151	1185	1810
31	4.06E-05	0.0322	570	842
32	1.46E-04	0.0576	628	1810
33	8.88E-05	0.04514	570	1550
34	1.69E-04	0.0384	570	1545
35	8.94E-05	0.0071	570	968
36	2.00E-04	0.1589	570	948
37	4.00E-05	0.0926	975	1810
38	1.29E-05	0.00093	187	1810
39	6.55E-04	0.01142	447	1537
40	3.27E-04	0.1292	570	869
41	1.01E-04	0.04563	570	1330
42	2.15E-05	0.01038	570	1542
43	2.52E-05	0.03235	798	1810
44	1.92E-05	0.0146	520	1107
45	3.07E-05	0.01104	497	1770
46	4.41E-05	0.01887	570	1410
47	3.89E-05	0.01673	641	1810
48	3.19E-05	0.02551	580	1810
49	4.75E-05	0.03768	570	1100
50	2.74E-05	0.01797	570	1054

51	4.05E-05	0.01628	1075	1613
52	3.23E-05	0.00682	293	1301
53	3.06E-05	0.0059	343	1810
54	3.79E-05	0.00793	292	1810
55	2.17E-05	0.00644	348	1810
56	2.47E-05	0.00355	242	1721
57	2.96E-05	0.00493	260	1810
58	3.87E-05	0.00616	257	1810
59	4.99E-05	0.00929	275	1810
60	1.13E-05	0.00242	359	1613
61	1.70E-05	0.00258	394	1458
62	1.16E-05	0.01593	750	1810
63	2.90E-05	0.02305	570	1117
64	2.19E-04	0.174	570	855
65	1.11E-05	0.00922	583	1810
66	1.00E-04	0.00065	458	1204
67	1.96E-05	0.01875	626	1810
68	1.90E-04	0.1457	750	1613
69	1.60E-04	0.04577	570	1677
70	1.84E-05	0.00624	391	1773
71	2.33E-05	0.01853	570	1758
72	6.99E-03	0.06573	509	1304
73	1.37E-05	0.02987	1101	1613
74	1.24E-04	0.00846	464	1613
75	2.25E-05	0.01084	597	1613

NKL test spektrumlarının tanımlanmasında kullanılan parameter sabitlerinin değerleri Çizelge Ek. 4'te verilmiştir.

Çizelge Ek. 4 : NKL parametre sabitlerinin değerleri.

Durum	$W_1 (g^2/Hz)$	$W_2 (g^2/Hz)$	$f_1 (Hz)$	$f_2 (Hz)$
1	1.38E-05	0.0255	804	1810
2	3.04E-05	0.0122	371	1562
3	1.57E-03	1.24	570	571
4	1.19E-04	0.025	597	1319
5	8.07E-05	0.0641	570	1604
6	7.72E-04	0.6125	570	1027
7	4.68E-05	0.0236	632	1004
8	1.20E-02	0.4983	591	891
9	3.70E-03	0.0463	421	685
10	5.05E-05	0.0472	570	1493
11	1.96E-05	0.0098	470	1757
12	3.25E-04	0.2568	570	1238
13	2.15E-04	0.2569	570	1300
14	4.35E-05	0.0342	654	1810

15	1.95E-04	0.1545	570	1064
16	1.60E-05	0.00449	715	1810
17	8.46E-05	0.0245	477	1810
18	3.66E-05	0.0585	418	1435
19	9.21E-05	0.0734	865	1613
20	6.82E-05	0.034	656	1651
21	2.54E-04	0.0168	554	870
22	3.32E-05	0.02333	640	905
23	1.30E-04	0.1035	570	763
24	7.33E-04	0.05907	570	1420
25	2.35E-05	0.00698	655	2000
26	1.06E-04	0.1046	635	1810
27	2.00E-03	0.01706	400	1418
28	4.00E-05	0.0105	793	1613
29	1.00E-04	0.01226	1051	1827
30	1.21E-04	0.5938	1421	1810
31	1.62E-04	0.1289	570	877
32	2.21E-04	0.2477	667	1810
33	2.07E-04	0.1639	570	1675
34	2.83E-04	0.1373	570	1688
35	3.31E-04	0.2628	570	982
36	7.62E-04	0.6047	570	1100
37	1.45E-04	0.4886	1178	1810
38	2.22E-05	0.00335	260	1810
39	4.16E-03	0.0437	498	1539
40	6.15E-04	0.4885	570	928
41	2.17E-04	0.1726	570	1481
42	4.85E-05	0.03846	570	1612
43	7.38E-05	0.1584	939	1810
44	6.79E-05	0.05387	570	1180
45	5.89E-05	0.04629	567	1810
46	8.97E-05	0.07123	570	1555
47	6.45E-05	0.08338	759	1810
48	1.12E-04	0.1176	655	1810
49	1.87E-04	0.1482	570	1197
50	8.88E-05	0.07047	570	1116
51	7.01E-05	0.07381	1313	1613
52	1.01E-04	0.02382	310	1296
53	5.96E-05	0.02381	404	1810
54	1.31E-04	0.03145	313	1810
55	6.84E-05	0.02638	397	1810
56	7.28E-05	0.01306	270	1675
57	9.57E-05	0.01927	286	1810
58	1.31E-04	0.02343	270	1810
59	1.54E-04	0.0394	323	1810
60	2.27E-05	0.0081	381	1613

61	3.55E-05	0.00784	380	1542
62	5.21E-05	0.06857	735	1810
63	1.16E-04	0.09175	570	1144
64	8.76E-04	0.6951	570	916
65	3.89E-05	0.04142	660	1810
66	2.16E-04	0.00264	508	1129
67	7.54E-05	0.09864	732	1810
68	4.33E-04	0.8195	882	1613
69	2.66E-04	0.165	572	1810
70	5.59E-05	0.02592	435	1810
71	8.73E-05	0.07448	591	1810
72	2.16E-02	0.2381	570	1341
73	3.50E-05	0.1563	1356	1613
74	3.41E-04	0.03817	571	1613
75	4.15E-05	0.05354	737	1613

ZL test spektrumlarının tanımlanmasında kullanılan parameter sabitlerinin değerleri Çizelge Ek. 5'te verilmiştir.

Çizelge Ek. 5 : ZL parametre sabitlerinin değerleri.

Durum	$W_1 (g^2/Hz)$	$W_2 (g^2/Hz)$	$f_1 (Hz)$	$f_2 (Hz)$
1	1.67E-05	0.0015	420	1410
2	1.99E-05	0.0023	294	952
3	2.46E-04	0.1956	570	571
4	9.48E-05	0.00312	565	1151
5	1.97E-05	0.0156	570	914
6	1.42E-04	0.1131	570	571
7	2.34E-05	0.0042	456	729
8	9.04E-03	0.1356	570	571
9	1.10E-03	0.00793	366	750
10	2.96E-05	0.0054	396	1213
11	2.47E-05	0.00199	416	1338
12	2.40E-03	0.0599	548	676
13	7.59E-04	0.05657	570	571
14	2.95E-04	0.00309	375	1810
15	4.07E-05	0.0208	457	658
16	2.83E-05	0.00062	450	1645
17	6.13E-05	0.00614	564	1067
18	3.44E-05	0.00898	326	1122
19	1.40E-04	0.00582	490	1364
20	2.25E-04	0.0091	640	856
21	1.18E-04	0.0033	560	765
22	2.77E-05	0.0035	493	743
23	1.90E-05	0.0128	570	746
24	2.05E-04	0.01047	570	860
25	3.37E-05	0.00112	641	2000

26	6.02E-05	0.01707	570	1022
27	7.34E-04	0.00271	285	1318
28	2.47E-05	0.002	612	1613
29	6.50E-05	0.0011	640	1816
30	2.91E-04	0.02535	750	1810
31	2.99E-05	0.0182	498	640
32	4.98E-04	0.03308	570	1101
33	1.49E-04	0.0354	570	1087
34	2.10E-04	0.0365	570	1034
35	5.50E-05	0.04362	570	906
36	1.67E-04	0.1329	570	571
37	4.36E-04	0.02889	570	1537
38	1.97E-05	0.00048	204	1810
39	7.68E-04	0.00877	437	1085
40	4.68E-04	0.1042	570	570
41	1.08E-04	0.03278	501	1113
42	2.30E-04	0.00695	570	1248
43	2.68E-05	0.00941	379	1648
44	3.16E-05	0.00884	413	889
45	2.83E-05	0.00646	393	1440
46	4.50E-05	0.0107	514	1090
47	5.43E-05	0.00669	447	1657
48	2.73E-05	0.01472	570	1427
49	3.16E-05	0.01892	570	827
50	2.91E-05	0.0092	425	856
51	6.06E-05	0.00499	720	1613
52	5.17E-05	0.00341	226	1312
53	3.78E-05	0.00374	302	1246
54	4.21E-05	0.00273	238	1810
55	1.83E-05	0.00204	226	1685
56	2.35E-05	0.00329	312	1224
57	2.67E-05	0.00335	247	1216
58	3.07E-05	0.00342	250	1352
59	4.07E-05	0.00511	226	1194
60	1.90E-05	0.00131	274	1613
61	2.62E-05	0.00251	551	963
62	1.26E-05	0.00444	570	1314
63	1.87E-05	0.01485	570	830
64	1.75E-04	0.1388	570	571
65	1.52E-05	0.00468	443	1659
66	1.44E-04	0.00052	397	907
67	2.03E-05	0.00919	570	1128
68	3.04E-04	0.06598	570	1164
69	5.37E-04	0.03567	570	877
70	2.80E-05	0.00439	320	1345
71	2.34E-05	0.0137	570	1092

72	5.60E-03	0.05249	570	814
73	1.95E-04	0.0066	577	1632
74	1.63E-04	0.00523	411	1247
75	2.43E-05	0.0073	424	1070

Log-TPTN test spektrumlarının tanımlanmasında kullanılan parametre sabitlerinin değerleri Çizelge Ek. 6’da verilmiştir.

Çizelge Ek. 6 : Log-TPTN parametre sabitlerinin değerleri.

Durum	$W_1 (g^2/Hz)$	$W_2 (g^2/Hz)$	$f_1 (Hz)$	$f_2 (Hz)$
1	2.30E-05	0.00322	464	1365
2	5.60E-05	0.00404	357	933
3	3.70E-04	0.2936	570	571
4	1.74E-04	0.00675	640	1216
5	4.39E-05	0.02758	570	915
6	4.89E-04	0.21	570	571
7	3.10E-05	0.00775	436	640
8	1.34E-02	0.2596	570	571
9	1.86E-03	0.0144	422	761
10	4.22E-05	0.0075	392	1250
11	3.32E-05	0.0029	368	1504
12	5.64E-03	0.1176	570	606
13	1.12E-03	0.08699	570	571
14	4.80E-04	0.00538	378	1810
15	7.37E-05	0.02985	407	780
16	6.44E-05	0.00109	459	1588
17	1.56E-04	0.00983	618	1099
18	6.08E-05	0.00949	252	1354
19	6.94E-05	0.00953	402	1226
20	3.69E-04	0.01817	640	784
21	3.00E-04	0.00573	598	825
22	3.67E-05	0.006	488	755
23	2.35E-05	0.01868	570	793
24	8.05E-04	0.01388	570	1044
25	4.49E-05	0.00176	573	2000
26	7.67E-05	0.0295	570	1013
27	1.28E-03	0.00537	285	1356
28	3.45E-05	0.00387	649	1613
29	1.42E-04	0.00152	546	1997
30	6.03E-04	0.03835	709	1810
31	5.61E-05	0.02883	459	686
32	8.68E-04	0.0595	570	879
33	5.36E-04	0.06224	570	1153
34	7.90E-04	0.06794	570	1016
35	1.03E-04	0.08177	570	873
36	3.03E-04	0.2405	570	571

37	1.08E-04	0.05325	570	1336
38	1.88E-04	0.00084	342	1810
39	1.51E-03	0.01765	450	937
40	1.58E-03	0.1946	570	571
41	2.75E-04	0.07053	532	971
42	3.82E-04	0.01194	563	1270
43	7.36E-05	0.01354	347	1810
44	4.22E-05	0.01177	378	1122
45	5.26E-05	0.00904	351	1675
46	7.16E-05	0.0194	539	1100
47	1.91E-04	0.01155	459	1671
48	5.03E-05	0.01771	538	1728
49	1.05E-04	0.02671	570	942
50	4.94E-05	0.01423	360	919
51	1.13E-04	0.00803	736	1613
52	7.21E-05	0.00633	226	1382
53	5.70E-05	0.00764	318	1189
54	5.63E-05	0.00549	311	1810
55	2.35E-05	0.00432	274	1368
56	4.82E-05	0.00594	338	1266
57	4.09E-05	0.00635	281	1250
58	7.39E-05	0.00478	230	1636
59	6.58E-05	0.00946	242	1096
60	2.82E-05	0.00278	273	1460
61	3.56E-05	0.00308	441	1229
62	1.81E-05	0.00725	570	1067
63	3.81E-05	0.03023	570	806
64	2.74E-04	0.2174	570	571
65	2.15E-05	0.00742	442	1810
66	2.50E-04	0.0007	218	1441
67	2.40E-05	0.0155	570	1073
68	9.86E-04	0.09306	570	1271
69	9.92E-04	0.06102	570	937
70	3.98E-05	0.00807	347	1323
71	2.79E-05	0.02213	570	1079
72	1.11E-02	0.08646	435	853
73	3.95E-04	0.01164	667	1710
74	3.88E-04	0.0101	473	1202
75	5.59E-05	0.01252	391	1114

TPTN test spektrumlarının tanımlanmasında kullanılan parameter sabitlerinin değerleri için Çizelge Ek. 7’de verilmiştir.

Çizelge Ek. 7 : TPTN parametre sabitlerinin değerleri.

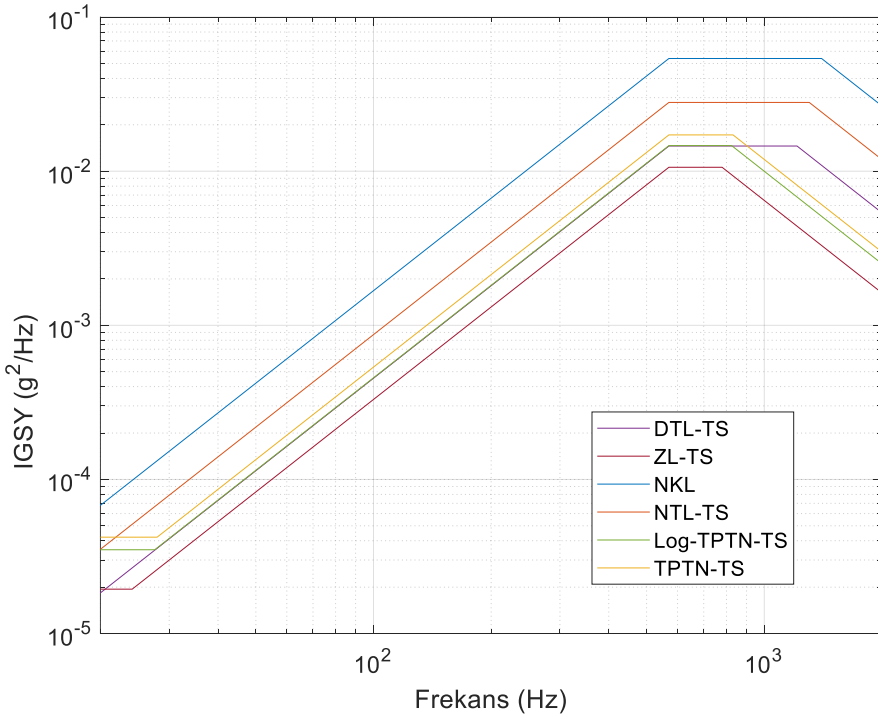
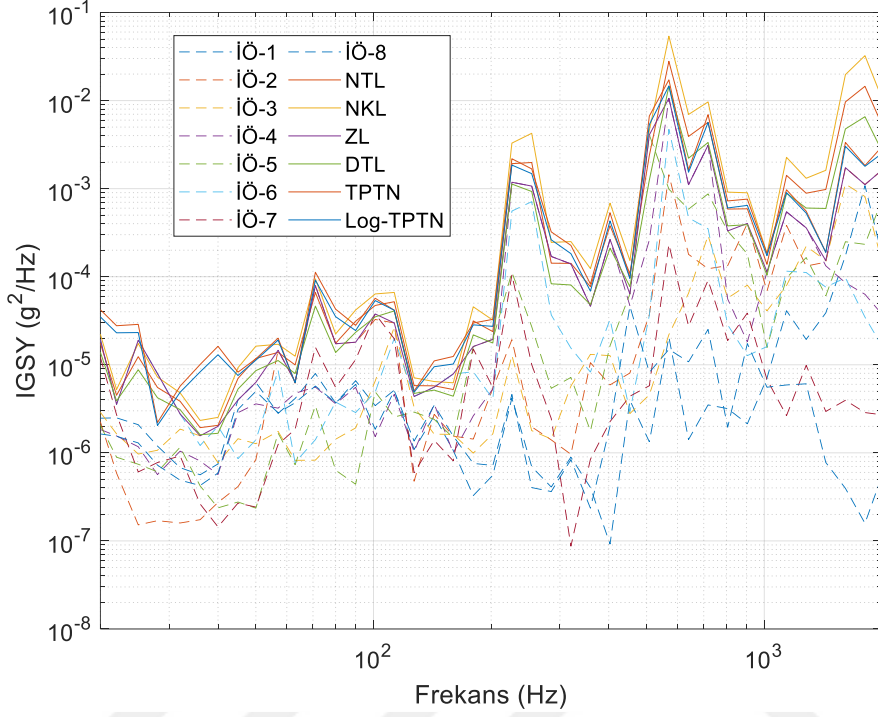
Durum	$W_1 (g^2/Hz)$	$W_2 (g^2/Hz)$	$f_1 (Hz)$	$f_2 (Hz)$
1	1.86E-05	0.00261	434	1370

2	4.58E-05	0.0033	344	992
3	3.10E-04	0.2462	570	571
4	1.42E-04	0.00559	640	1205
5	3.62E-05	0.02346	570	901
6	4.01E-04	0.1773	570	571
7	2.96E-05	0.00681	440	640
8	1.10E-02	0.2171	570	571
9	1.74E-03	0.01314	405	718
10	3.49E-05	0.00702	405	1230
11	2.67E-05	0.00262	362	1497
12	5.30E-03	0.1004	570	645
13	1.30E-04	0.0755	570	600
14	3.91E-04	0.0051	391	1810
15	6.47E-05	0.02718	414	797
16	5.23E-05	0.00095	445	1604
17	1.28E-04	0.00806	569	1152
18	5.32E-05	0.00875	259	1370
19	6.86E-05	0.00776	389	1225
20	3.00E-04	0.01506	640	835
21	2.61E-04	0.00522	587	794
22	3.07E-05	0.00554	503	712
23	2.10E-05	0.01667	570	760
24	6.54E-04	0.01244	570	1074
25	3.76E-05	0.00145	572	2000
26	6.28E-05	0.02522	570	1078
27	1.19E-03	0.00461	291	1289
28	2.98E-05	0.00314	600	1613
29	1.16E-04	0.00141	544	1942
30	4.93E-04	0.03645	722	1810
31	4.98E-05	0.02658	467	686
32	7.01E-04	0.05107	570	948
33	4.36E-04	0.05323	570	1146
34	6.46E-04	0.05711	570	1046
35	9.07E-05	0.07197	570	837
36	2.58E-04	0.2044	570	571
37	8.98E-05	0.04499	570	1352
38	1.91E-04	0.00068	318	1810
39	1.29E-03	0.01587	451	963
40	1.29E-03	0.1648	570	571
41	2.39E-04	0.06058	526	983
42	3.10E-04	0.01093	570	1211
43	6.08E-05	0.01311	367	1810
44	2.93E-05	0.01058	384	1072
45	4.85E-05	0.00831	356	1587
46	6.92E-05	0.01703	538	1136
47	1.55E-04	0.01066	462	1674

48	4.77E-05	0.01642	548	1668
49	8.58E-05	0.02459	570	883
50	4.67E-05	0.01317	371	927
51	9.37E-05	0.00664	690	1613
52	5.88E-05	0.00578	226	1316
53	4.60E-05	0.00616	297	1231
54	4.60E-05	0.00514	312	1810
55	2.15E-05	0.00351	257	1485
56	3.92E-05	0.00501	318	1313
57	3.83E-05	0.00528	268	1241
58	6.60E-05	0.0043	226	1743
59	5.98E-05	0.00784	231	1151
60	2.27E-05	0.00226	256	1468
61	2.90E-05	0.00258	414	1299
62	1.48E-05	0.00666	570	1104
63	3.52E-05	0.02796	570	755
64	2.32E-04	0.1843	570	594
65	1.75E-05	0.07043	448	1714
66	3.08E-04	0.00085	215	1377
67	1.76E-05	0.01398	570	1107
68	8.06E-04	0.07909	570	1249
69	5.85E-04	0.05142	570	995
70	3.26E-05	0.00673	339	1305
71	2.45E-05	0.01942	570	1112
72	1.04E-02	0.07649	430	862
73	3.22E-04	0.00975	638	1698
74	3.42E-04	0.00875	459	1161
75	4.80E-05	0.0106	389	1098

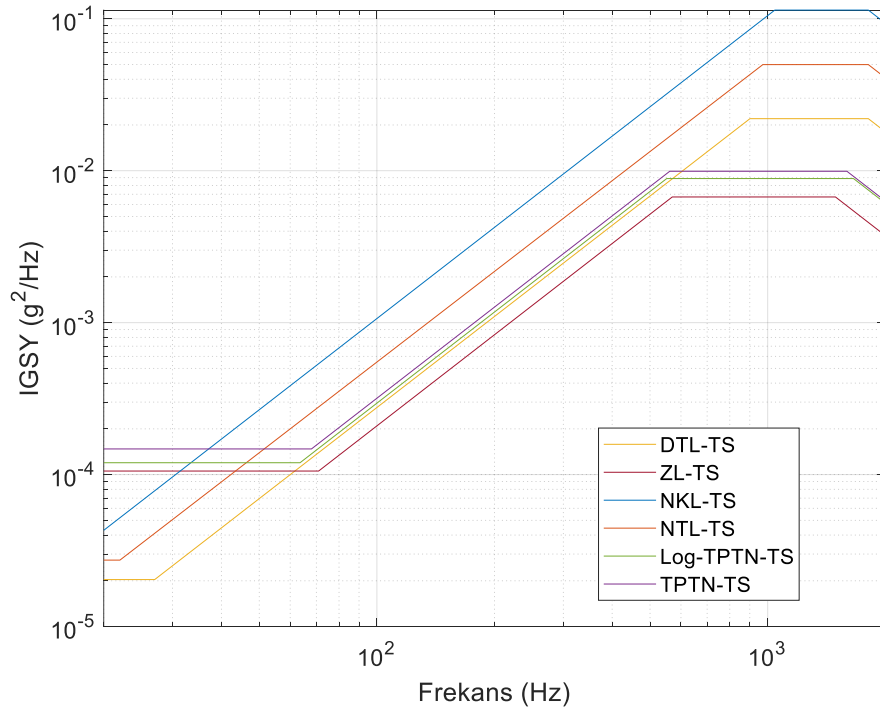
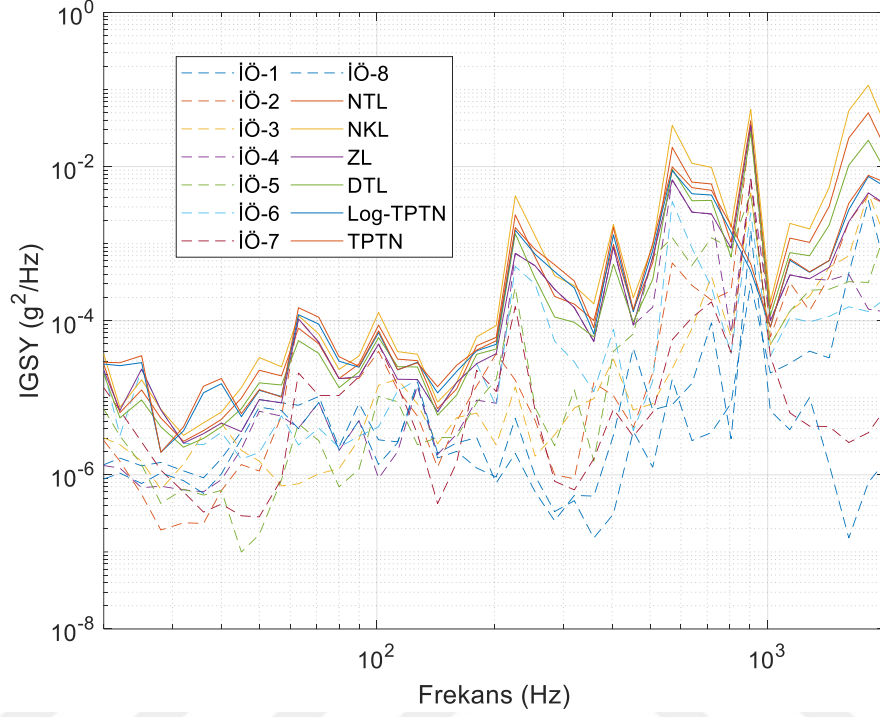
EK 4

Test noktası 1 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 75'te üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



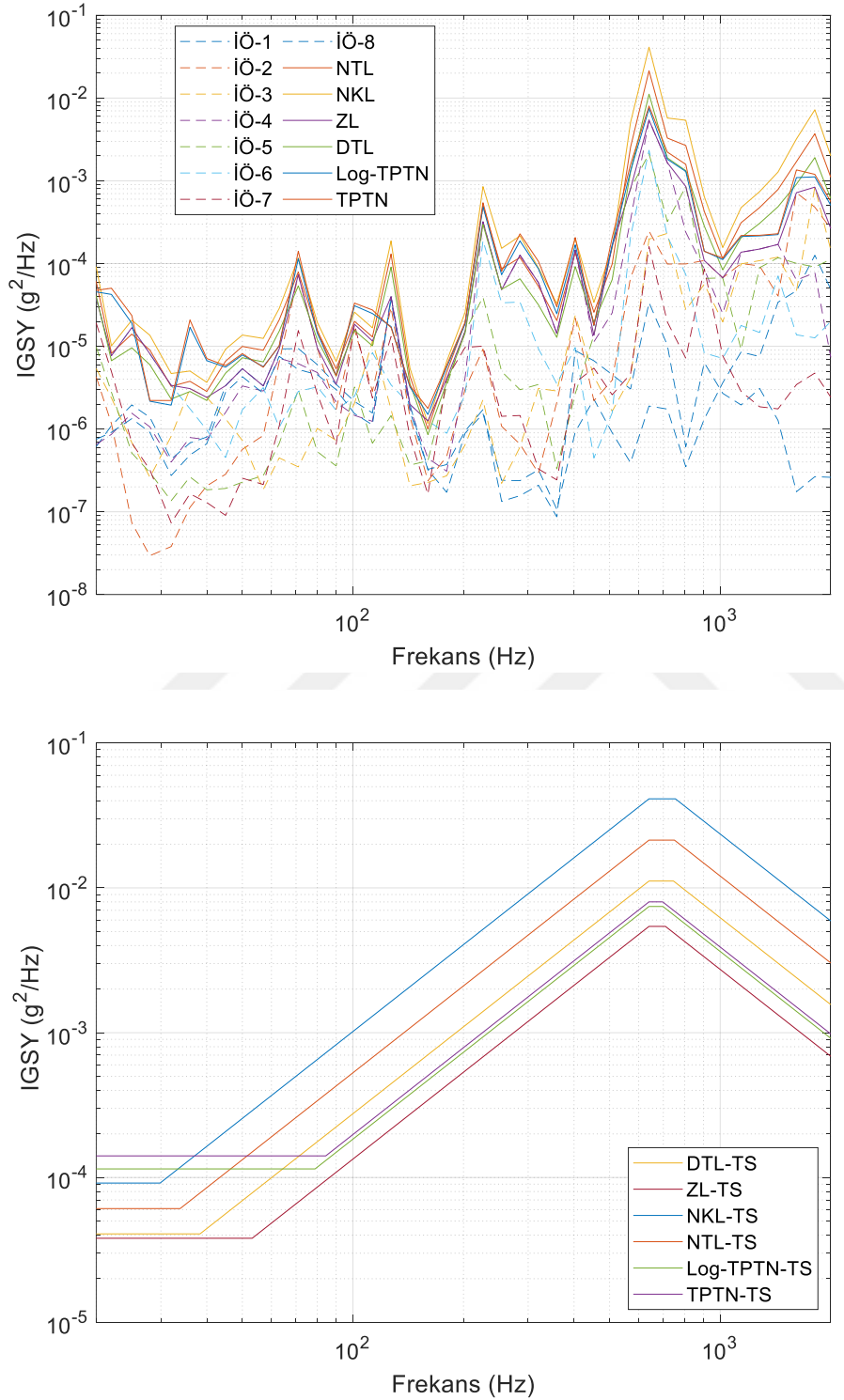
Şekil Ek. 75 : Test noktası 1'de ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Test noktası 3 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 76'da üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



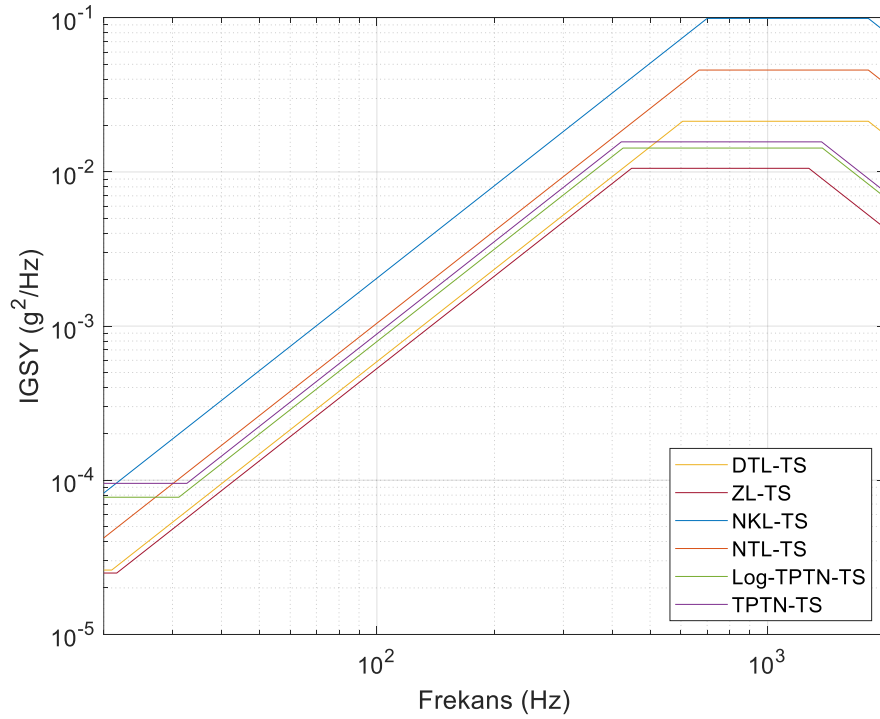
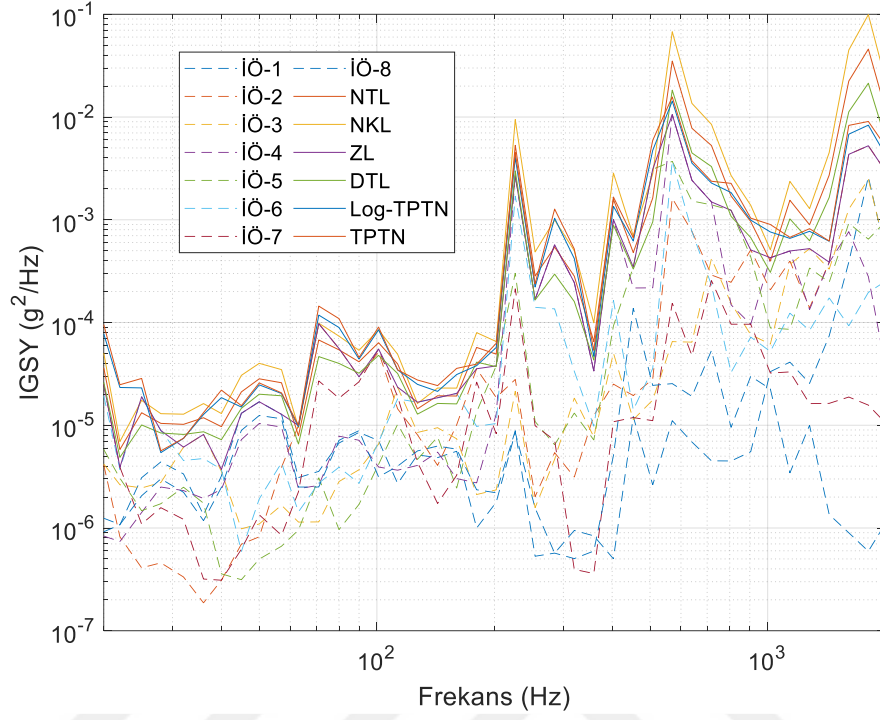
Şekil Ek. 76 : Test noktası 3'te ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Test noktası 4 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 77’de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



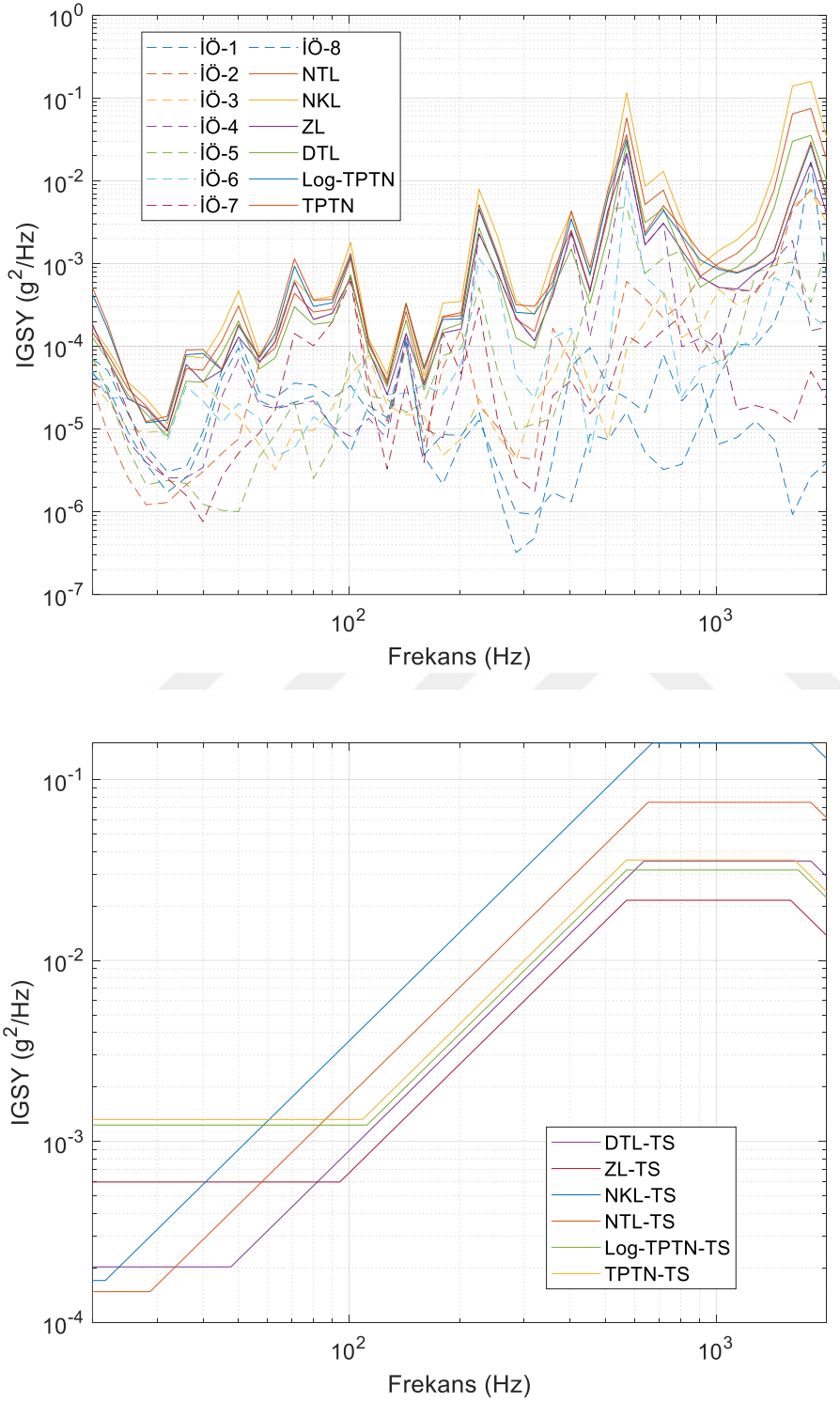
Şekil Ek. 77 : Test noktası 4’te ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Test noktası 5 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 78'de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



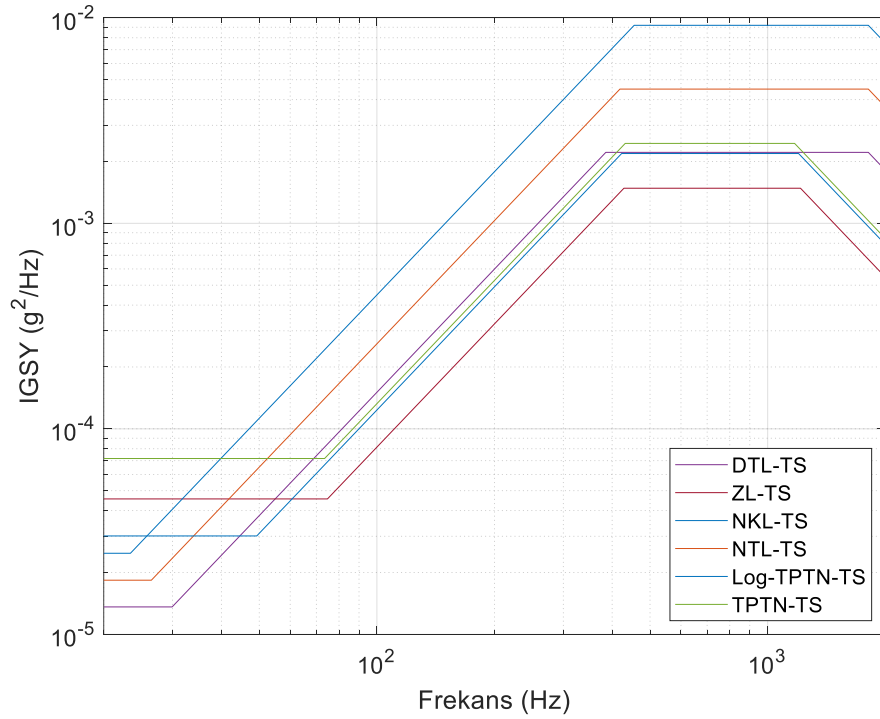
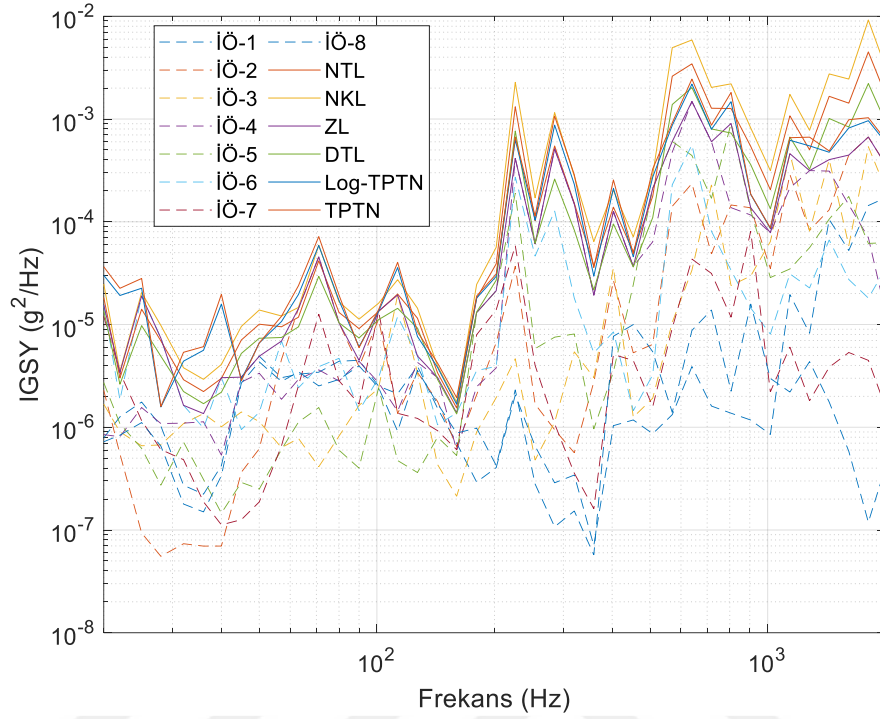
Şekil Ek. 78 : Test noktası 5'te ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Test noktası 6 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 79'da üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



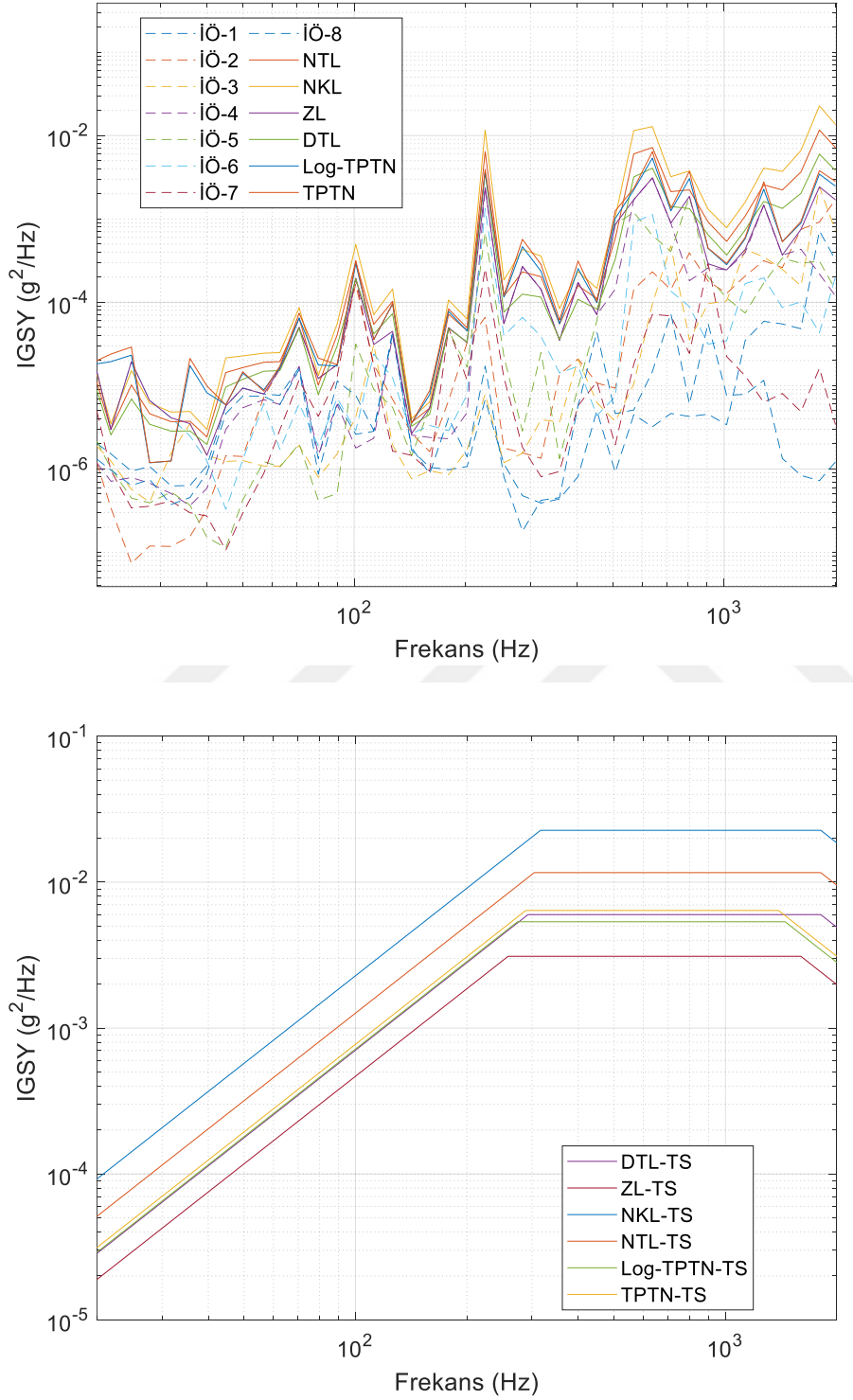
Şekil Ek. 79 : Test noktası 6'da ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Test noktası 7 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 80'de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



Şekil Ek. 80 : Test noktası 7'de ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

Test noktası 8 için ivmeölçer ve tolerans limiti İGSY grafiği Şekil Ek. 81'de üstte, test spektrumları ise altta verilmiştir.



Şekil Ek. 81 : Test noktası 8'de ivmeölçer, tolerans limiti ve test spektrumları.

EK 5

NTL test spektrumlarının deneysel noktalardaki değerleri için izelge Ek. 8’de verilmiştir.

Çizelge Ek. 8 : Test noktalarında NTL parametre sabitleri değerleri.

Durum	$W_1 (g^2/Hz)$	$W_2 (g^2/Hz)$	$f_1 (Hz)$	$f_2 (Hz)$
1	3.52E-05	0.0279	570	1303
2	4.43E-04	0.2506	570	725
3	2.74E-05	0.0499	972	1810
4	6.10E-05	0.0214	640	751
5	4.22E-05	0.0459	667	1810
6	1.48E-04	0.0748	652	1810
7	1.83E-05	0.0045	419	1810
8	5.12E-05	0.0116	304	1810

DTL test spektrumlarının deneysel noktalardaki değerleri için izelge Ek. 9’da verilmiştir.

Çizelge Ek. 9 : Test noktalarında DTL parametre sabitleri değerleri.

Durum	$W_1 (g^2/Hz)$	$W_2 (g^2/Hz)$	$f_1 (Hz)$	$f_2 (Hz)$
1	1.84E-05	0.0146	570	1213
2	3.22E-04	0.1273	570	722
3	2.04E-05	0.0220	915	1810
4	4.08E-05	0.0112	640	746
5	2.61E-05	0.0213	606	1810
6	1.28E-04	0.0354	636	1810
7	1.36E-05	0.0022	385	1810
8	2.85E-05	0.0060	293	1810

NKL test spektrumlarının deneysel noktalardaki değerleri için izelge Ek. 10’da verilmiştir.

Çizelge Ek. 10 : Test noktalarında NKL parametre sabitleri değerleri.

Durum	$W_1 (g^2/Hz)$	$W_2 (g^2/Hz)$	$f_1 (Hz)$	$f_2 (Hz)$
1	6.79E-05	0.0539	570	1402
2	6.12E-04	0.4961	570	727
3	4.30E-05	0.1141	1043	1810
4	9.15E-05	0.0412	640	755
5	8.25E-05	0.0992	700	1810
6	1.70E-04	0.1587	669	1810
7	2.48E-05	0.0092	455	1810
8	9.24E-05	0.0227	316	1810

ZL test spektrumlarının deneysel noktalardaki değerleri için izelge Ek. 11’de verilmiştir.

Çizelge Ek. 11 : Test noktalarında ZL parametre sabitleri değerleri.

Durum	$W_1 (g^2/Hz)$	$W_2 (g^2/Hz)$	$f_1 (Hz)$	$f_2 (Hz)$
1	1.94E-05	0.0106	570	780
2	3.01E-04	0.0940	570	571
3	1.06E-04	0.0067	570	1491
4	7.33E-05	0.0054	640	709
5	2.50E-05	0.0106	449	1275
6	5.97E-04	0.0215	570	1595
7	4.56E-05	0.0015	429	1213
8	1.89E-05	0.0031	259	1598

TPTN test spektrumlarının deneysel noktalardaki değerleri için izelge Ek. 12’de verilmiştir.

Çizelge Ek. 12 : Test noktalarında TPTN parametre sabitleri değerleri.

Durum	$W_1 (g^2/Hz)$	$W_2 (g^2/Hz)$	$f_1 (Hz)$	$f_2 (Hz)$
1	4.22E-05	0.0172	570	832
2	8.86E-04	0.1482	570	571
3	1.48E-04	0.0099	562	1595
4	1.41E-04	0.0080	640	697
5	9.54E-05	0.0157	422	1374
6	1.32E-03	0.0359	570	1633
7	7.17E-05	0.0024	432	1172
8	3.13E-05	0.0064	289	1391

Log-TPTN test spektrumlarının deneysel noktalardaki değerleri için izelge Ek. 13’te verilmiştir.

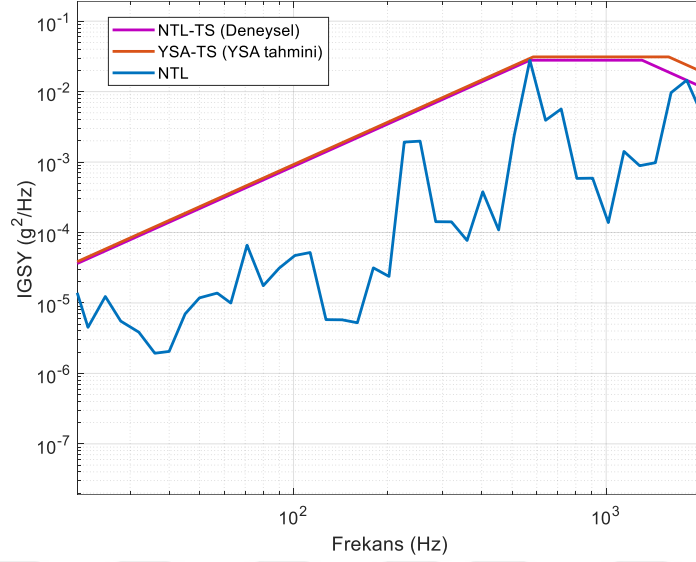
Çizelge Ek. 13 : Test noktalarında Log-TPTN parametre sabitleri değerleri.

Durum	$W_1 (g^2/Hz)$	$W_2 (g^2/Hz)$	$f_1 (Hz)$	$f_2 (Hz)$
1	3.50E-05	0.0147	570	825
2	7.68E-04	0.1262	570	571
3	1.20E-04	0.0089	552	1658
4	1.15E-04	0.0074	640	699
5	7.75E-05	0.0143	427	1381
6	1.23E-03	0.0316	570	1674
7	3.01E-05	0.0022	423	1200
8	2.91E-05	0.0054	274	1450

EK 6

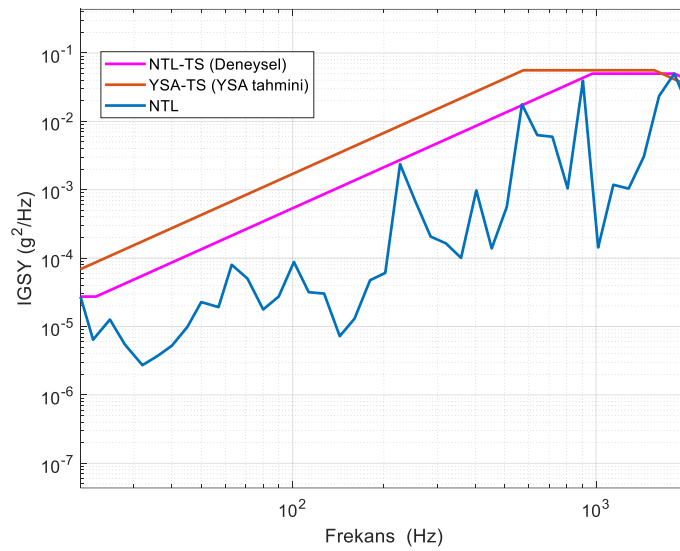
NTL Tahminleri

Test noktası 1 için NTL spektrumu, NTL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 82’de verilmiştir.



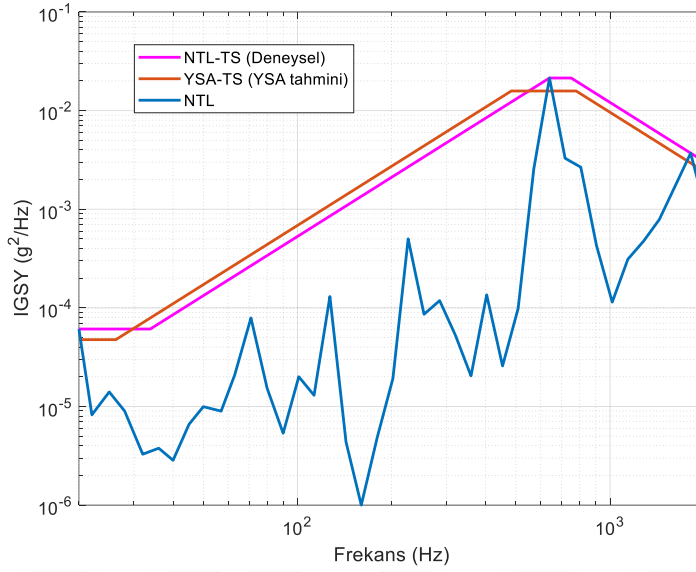
Şekil Ek. 82 : Test noktası 1 için YSA tahmini ve NTL test sonucu karşılaştırması.

Test noktası 3 için NTL spektrumu, NTL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 83’te verilmiştir.



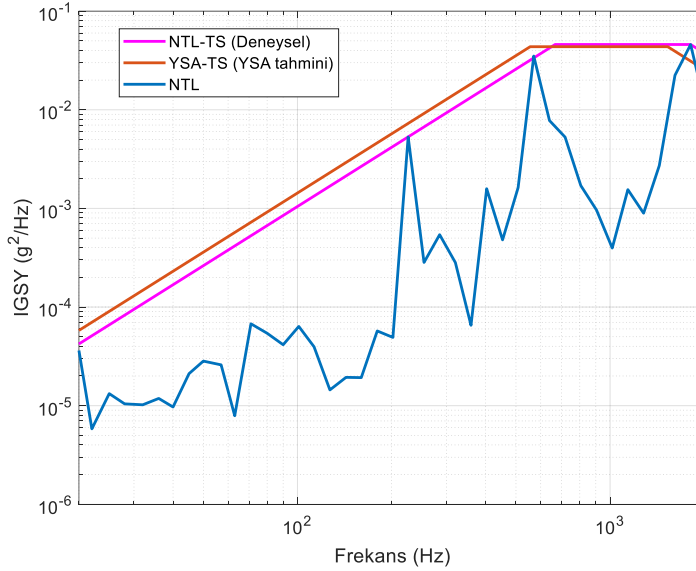
Şekil Ek. 83 : Test noktası 3 için YSA tahmini ve NTL test sonucu karşılaştırması.

Test noktası 4 için NTL spektrumu, NTL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 84'te verilmiştir.



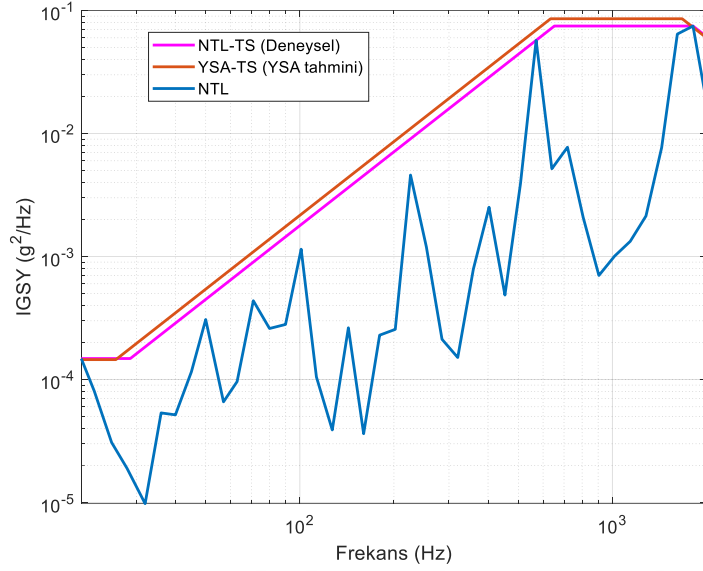
Şekil Ek. 84 : Test noktası 4 için YSA tahmini ve NTL test sonucu karşılaştırması.

Test noktası 5 için NTL spektrumu, NTL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 85'te verilmiştir.



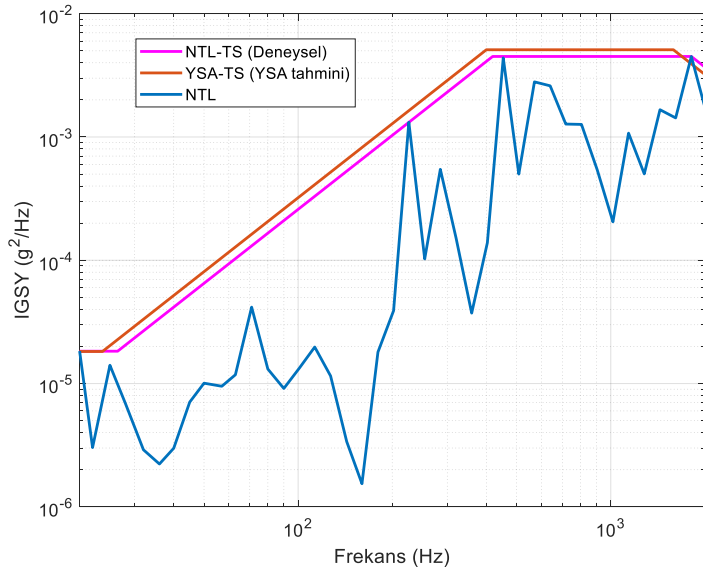
Şekil Ek. 85 : Test noktası 5 için YSA tahmini ve NTL test sonucu karşılaştırması.

Test noktası 6 için NTL spektrumu, NTL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 86'da verilmiştir.



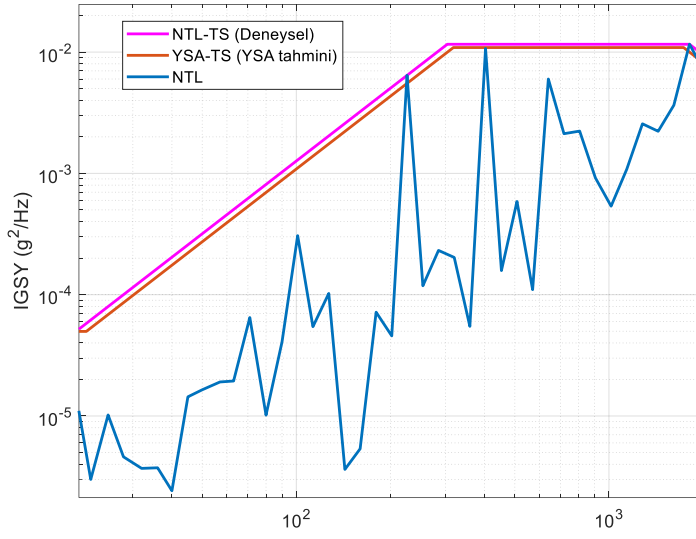
Şekil Ek. 86 : Test noktası 6 için YSA tahmini ve NTL test sonucu karşılaştırması.

Test noktası 7 için NTL spektrumu, NTL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 87'de verilmiştir.



Şekil Ek. 87 : Test noktası 7 için YSA tahmini ve NTL test sonucu karşılaştırması.

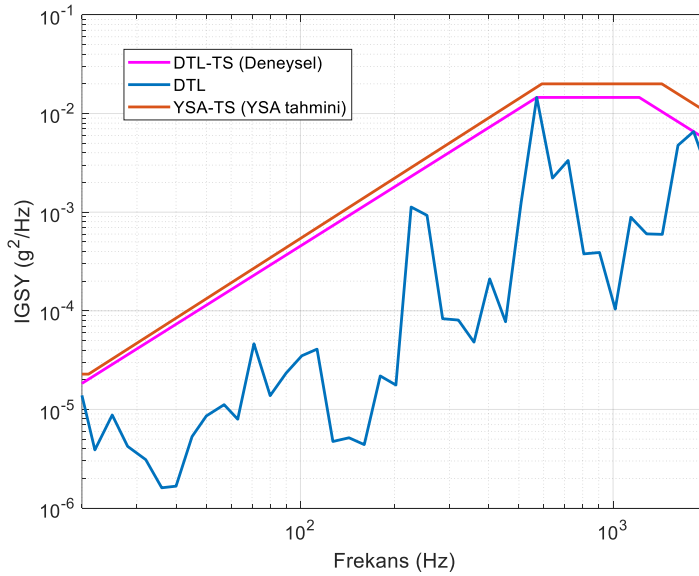
Test noktası 8 için NTL spektrumu, NTL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 88'de verilmiştir.



Şekil Ek. 88 : Test noktası 8 için YSA tahmini ve NTL test sonucu karşılaştırması.

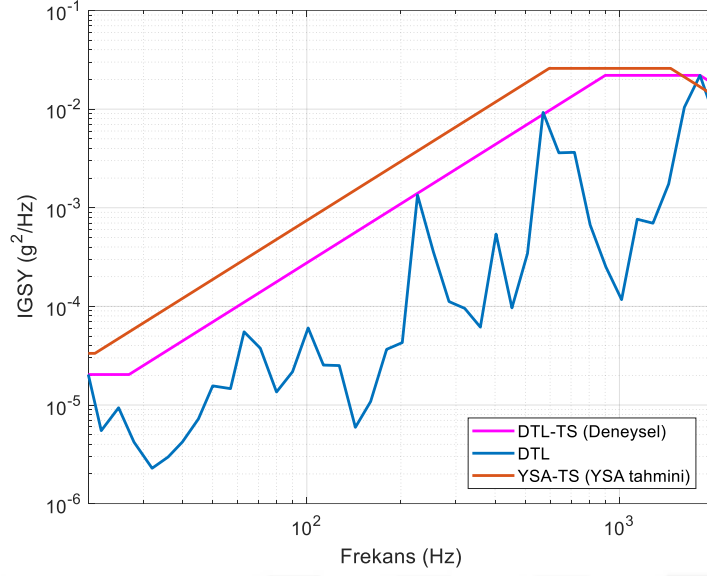
DTL Tahminleri

Test noktası 1 için DTL spektrumu, DTL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 89’da verilmiştir.



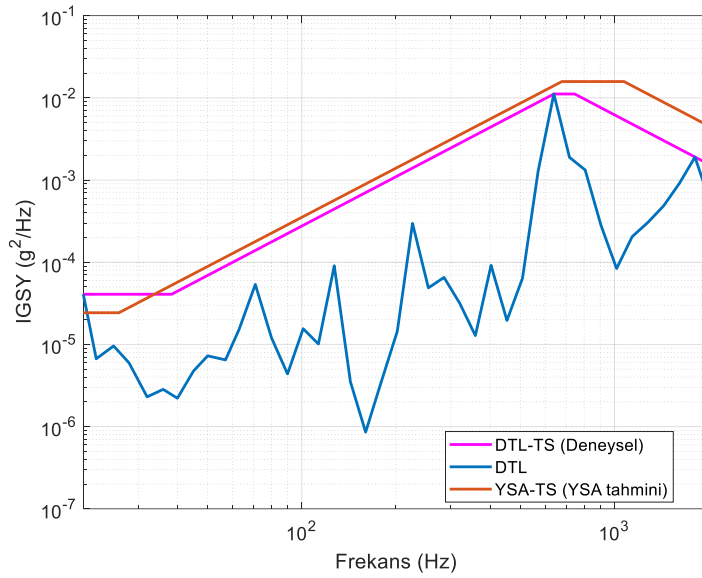
Şekil Ek. 89 : Test noktası 1 için YSA tahmini ve DTL test sonucu karşılaştırması.

Test noktası 3 için DTL spektrumu, DTL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 90’da verilmiştir.



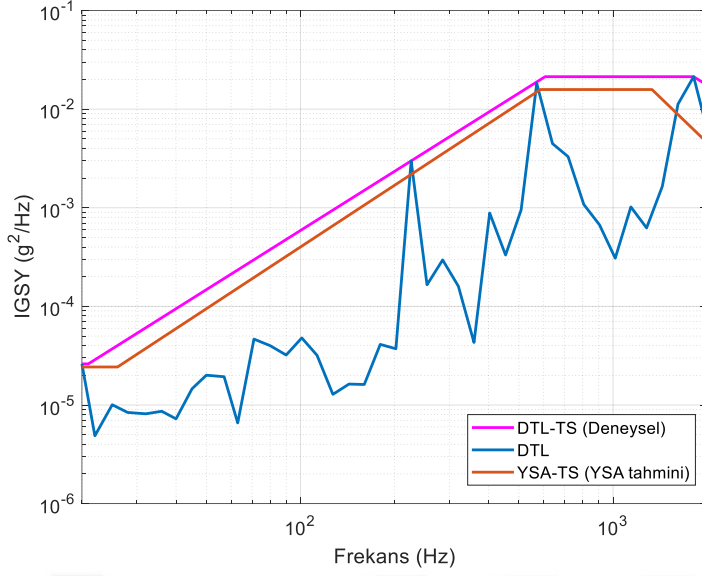
Şekil Ek. 90 : Test noktası 3 için YSA tahmini ve DTL test sonucu karşılaştırması.

Test noktası 4 için DTL spektrumu, DTL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 91’de verilmiştir.



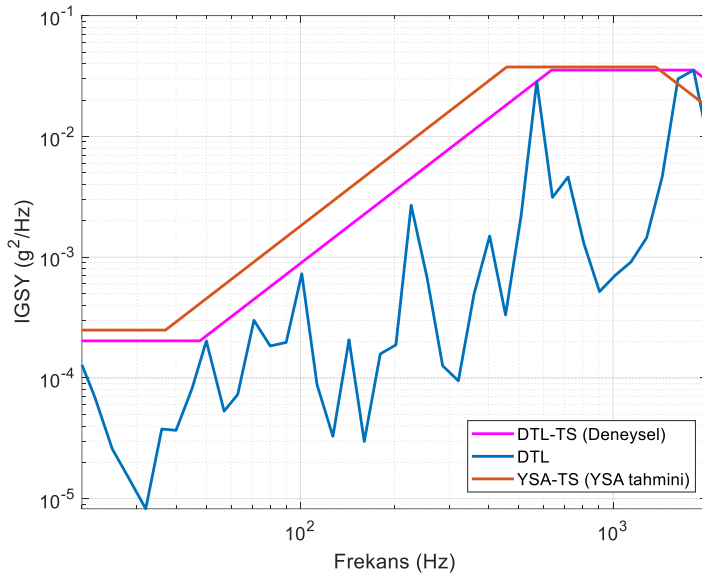
Şekil Ek. 91 : Test noktası 4 için YSA tahmini ve DTL test sonucu karşılaştırması.

Test noktası 5 için DTL spektrumu, DTL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 92’de verilmiştir.



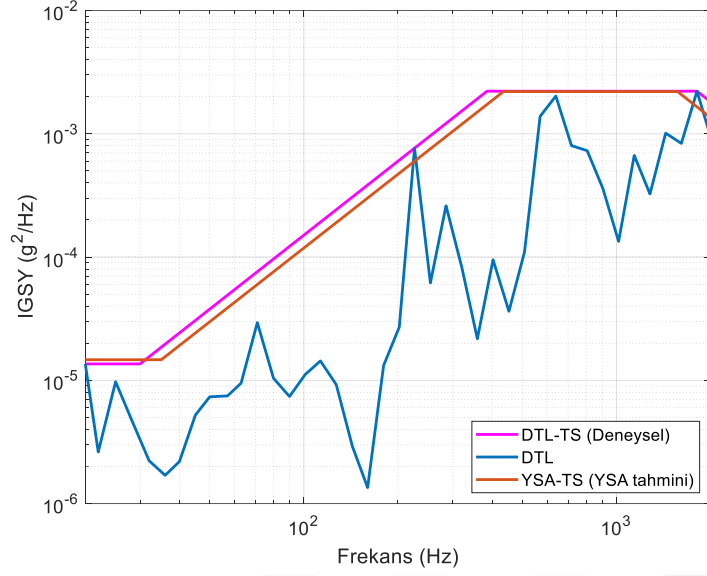
Şekil Ek. 92 : Test noktası 5 için YSA tahmini ve DTL test sonucu karşılaştırması.

Test noktası 6 için DTL spektrumu, DTL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 93'te verilmiştir.



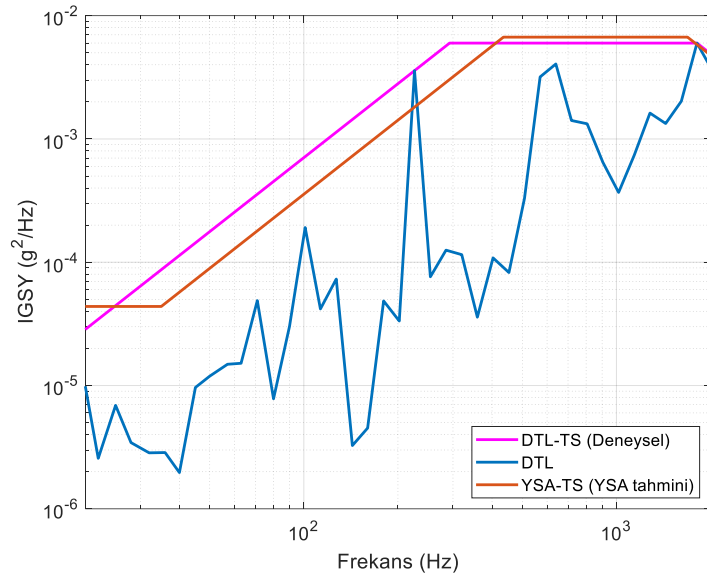
Şekil Ek. 93 : Test noktası 6 için YSA tahmini ve DTL test sonucu karşılaştırması.

Test noktası 7 için DTL spektrumu, DTL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 94'te verilmiştir.



Şekil Ek. 94 : Test noktası 7 için YSA tahmini ve DTL test sonucu karşılaştırması.

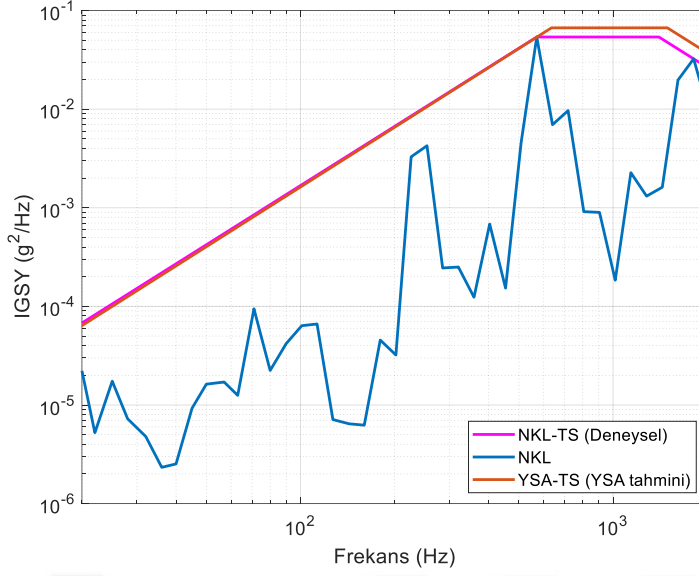
Test noktası 8 için DTL spektrumu, DTL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 95'te verilmiştir.



Şekil Ek. 95 : Test noktası 8 için YSA tahmini ve DTL test sonucu karşılaştırması.

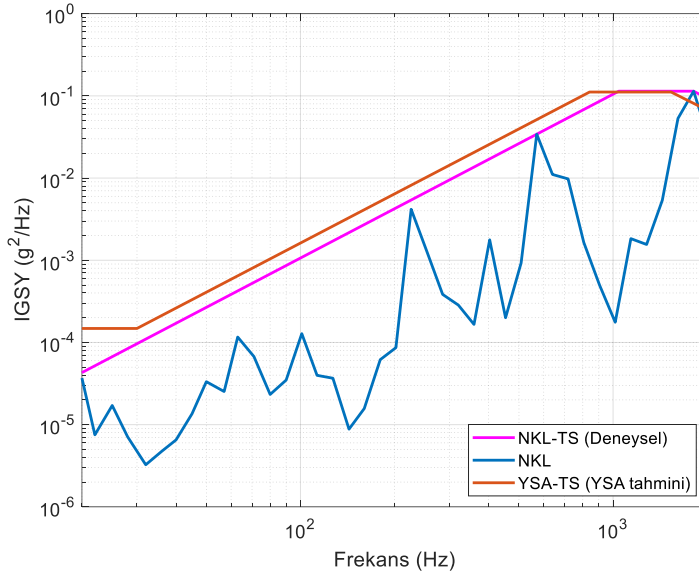
NKL Tahminleri

Test noktası 1 için NKL spektrumu, NKL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 96'da verilmiştir.



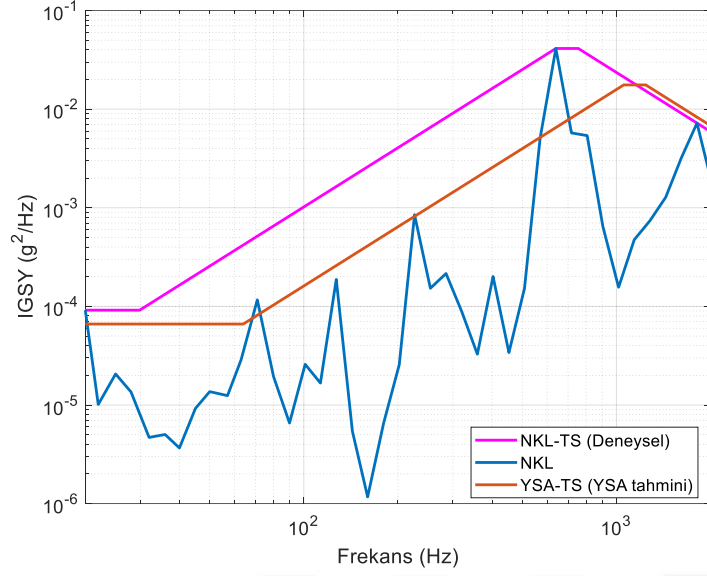
Şekil Ek. 96 : Test noktası 1 için YSA tahmini ve NKL test sonucu karşılaştırması.

Test noktası 3 için NKL spektrumu, NKL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 97’de verilmiştir.



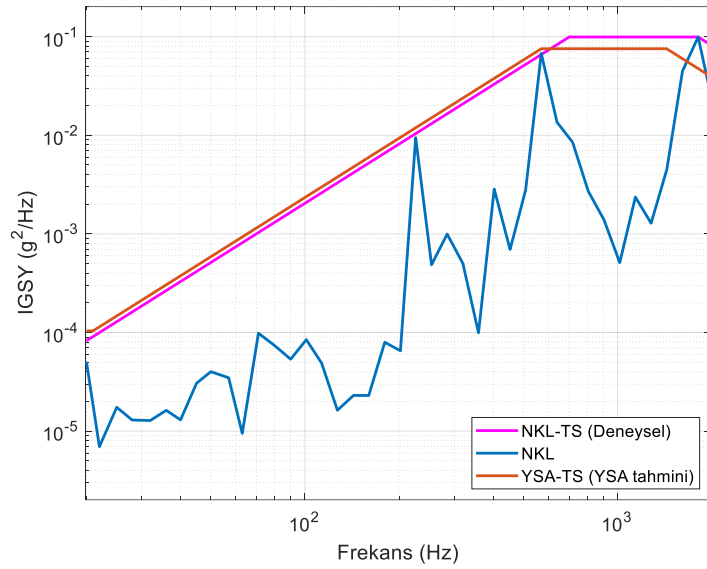
Şekil Ek. 97 : Test noktası 3 için YSA tahmini ve NKL test sonucu karşılaştırması.

Test noktası 4 için NKL spektrumu, NKL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 98’de verilmiştir.



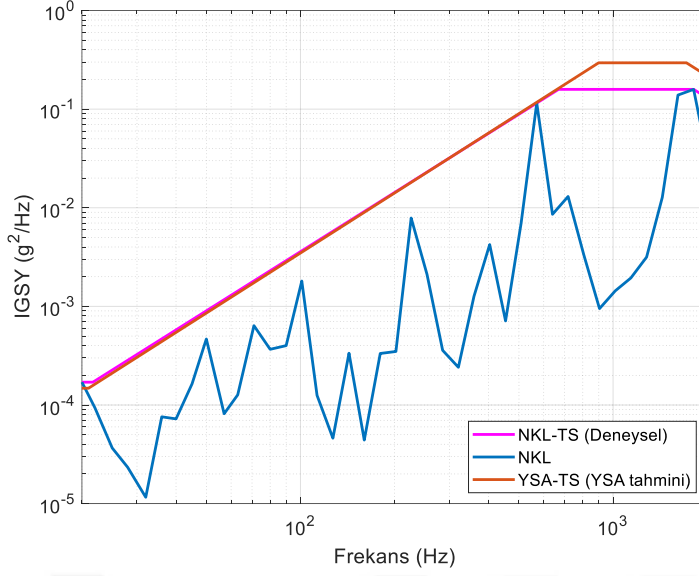
Şekil Ek. 98 : Test noktası 4 için YSA tahmini ve NKL test sonucu karşılaştırması.

Test noktası 5 için NKL spektrumu, NKL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 99’da verilmiştir.



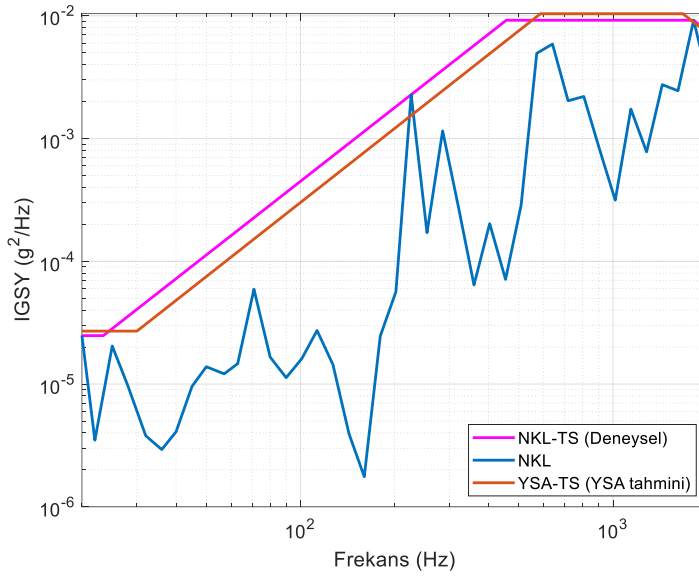
Şekil Ek. 99 : Test noktası 5 için YSA tahmini ve NKL test sonucu karşılaştırması.

Test noktası 6 için NKL spektrumu, NKL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 100’de verilmiştir.



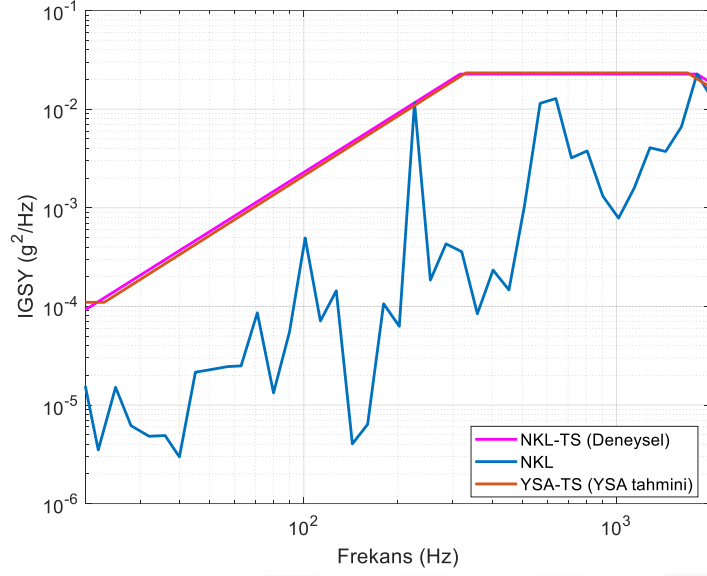
Şekil Ek. 100 : Test noktası 6 için YSA tahmini ve NKL test sonucu karşılaştırması.

Test noktası 7 için NKL spektrumu, NKL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 101’de verilmiştir.



Şekil Ek. 101 : Test noktası 7 için YSA tahmini ve NKL test sonucu karşılaştırması.

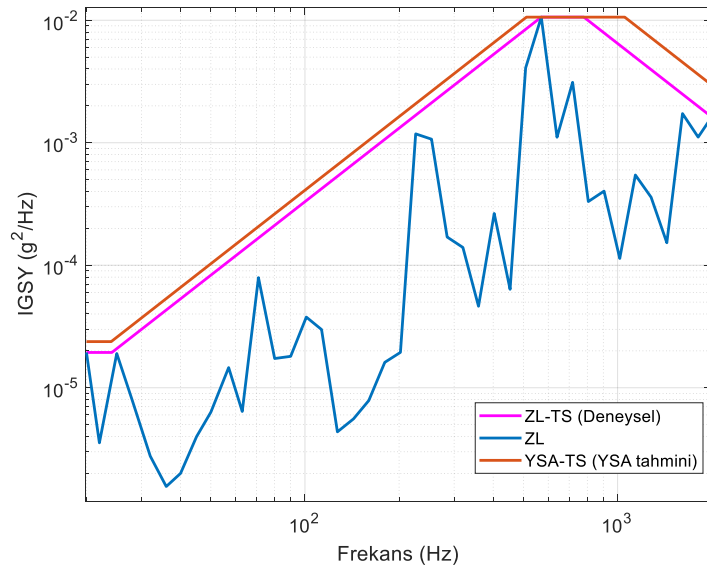
Test noktası 8 için NKL spektrumu, NKL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 102’de verilmiştir.



Şekil Ek. 102 : Test noktası 8 için YSA tahmini ve NKL test sonucu karşılaştırması.

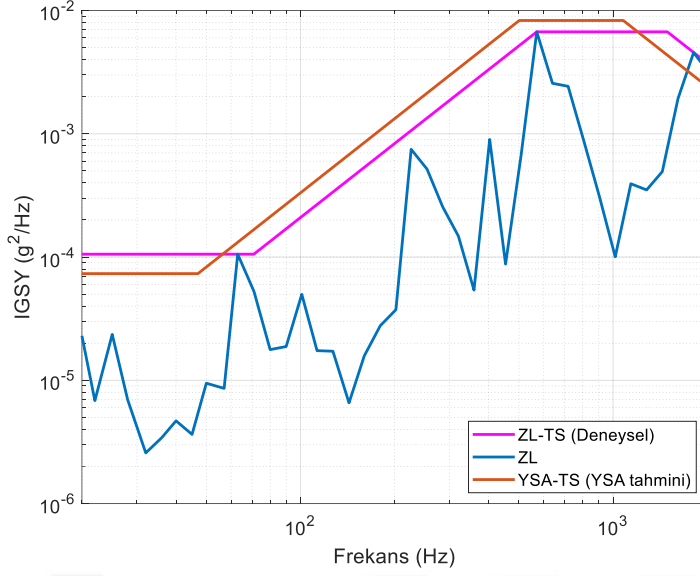
ZL Tahminleri

Test noktası 1 için ZL spektrumu, ZL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 103'te verilmiştir.



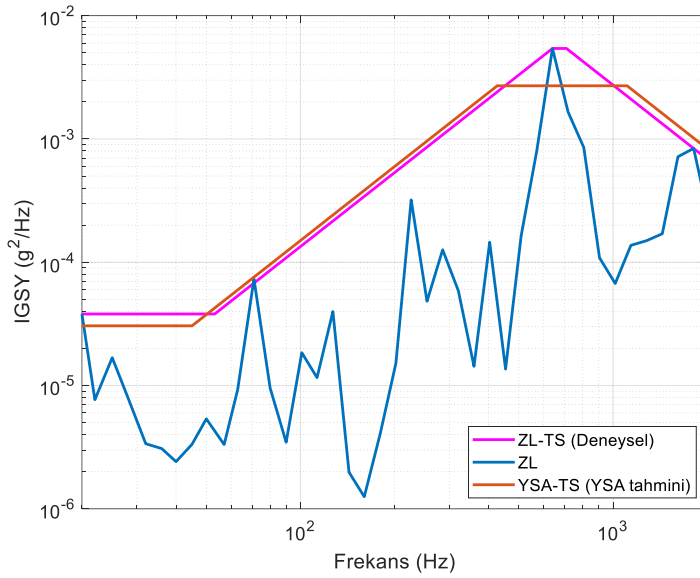
Şekil Ek. 103 : Test noktası 1 için YSA tahmini ve ZL test sonucu karşılaştırması.

Test noktası 3 için ZL spektrumu, ZL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 104'te verilmiştir.



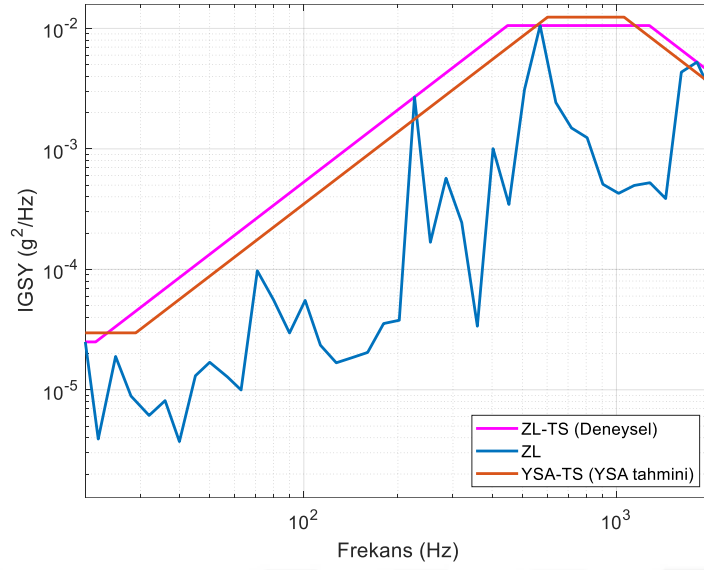
Şekil Ek. 104 : Test noktası 3 için YSA tahmini ve ZL test sonucu karşılaştırması.

Test noktası 4 için ZL spektrumu, ZL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 105’te verilmiştir.



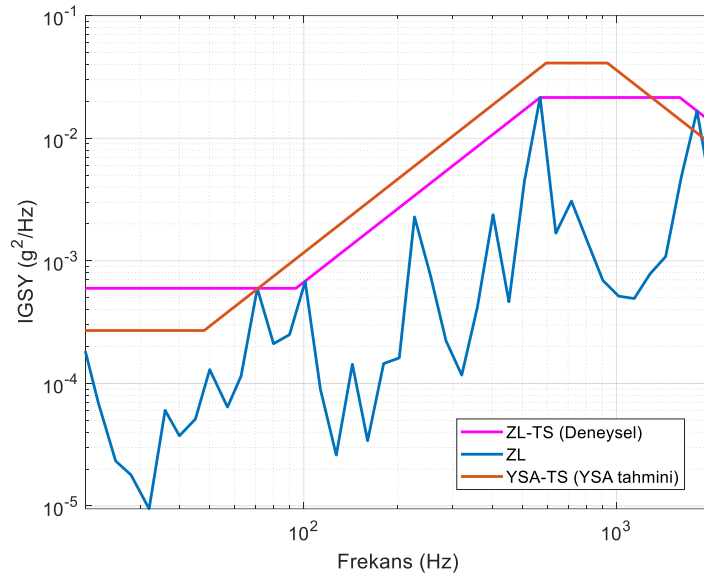
Şekil Ek. 105 : Test noktası 4 için YSA tahmini ve ZL test sonucu karşılaştırması.

Test noktası 5 için ZL spektrumu, ZL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 106’da verilmiştir.



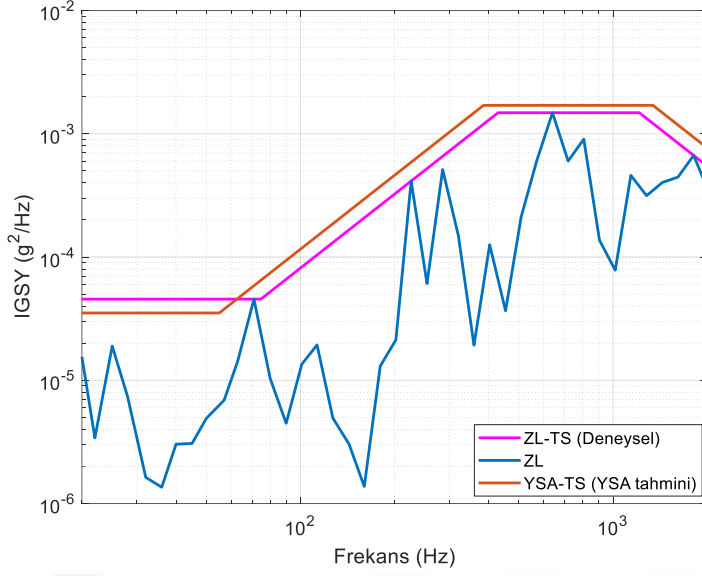
Şekil Ek. 106 : Test noktası 5 için YSA tahmini ve ZL test sonucu karşılaştırması.

Test noktası 6 için ZL spektrumu, ZL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 107’de verilmiştir.



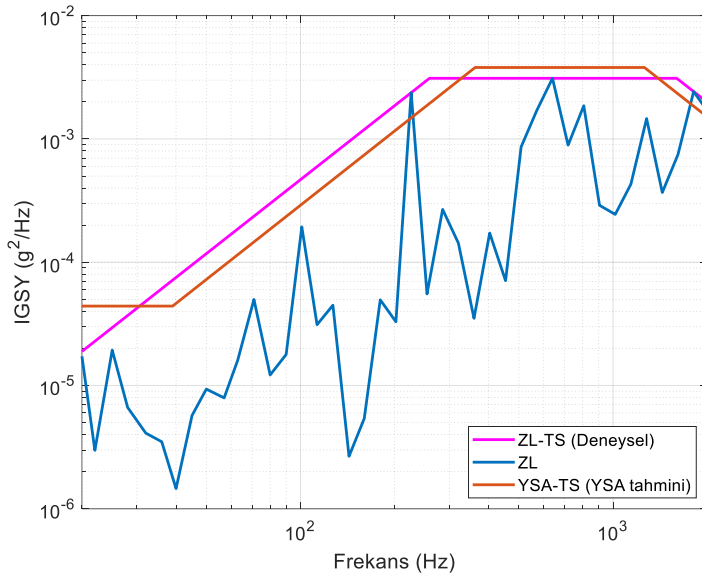
Şekil Ek. 107 : Test noktası 6 için YSA tahmini ve ZL test sonucu karşılaştırması.

Test noktası 7 için ZL spektrumu, ZL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 108’de verilmiştir.



Şekil Ek. 108 : Test noktası 7 için YSA tahmini ve ZL test sonucu karşılaştırması.

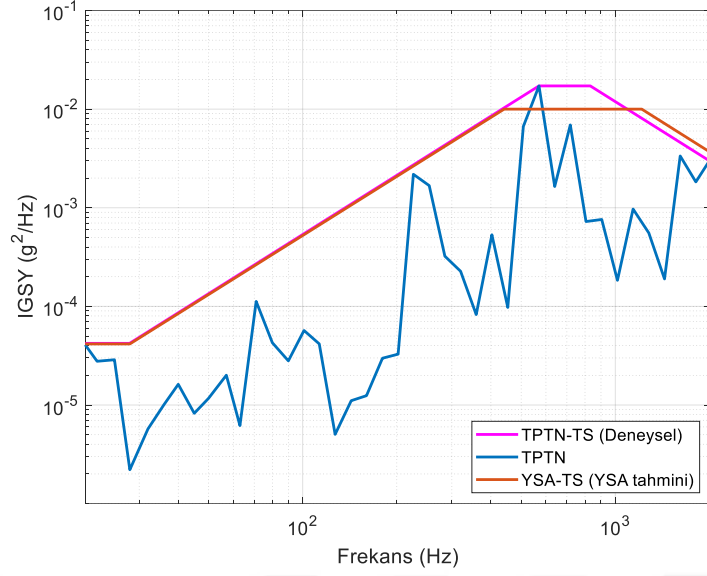
Test noktası 8 için ZL spektrumu, ZL test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 109’da verilmiştir.



Şekil Ek. 109 : Test noktası 8 için YSA tahmini ve ZL test sonucu karşılaştırması.

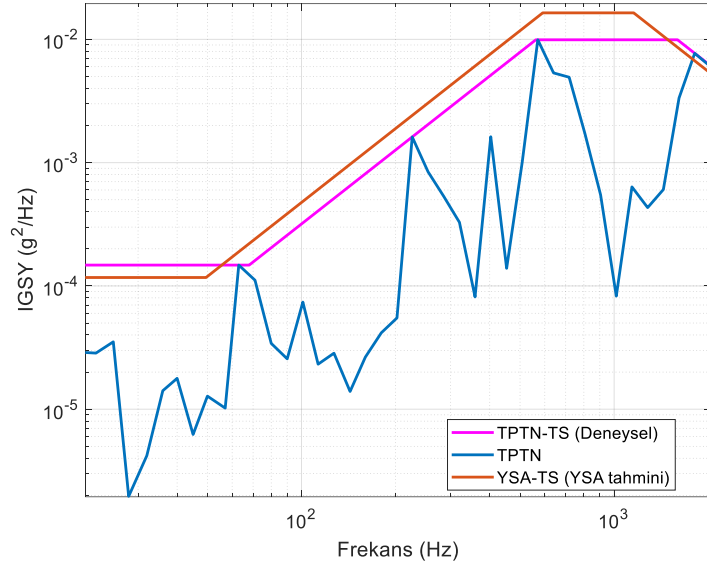
TPTN Tahminleri

Test noktası 1 için TPTN spektrumu, TPTN test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 110’da verilmiştir.



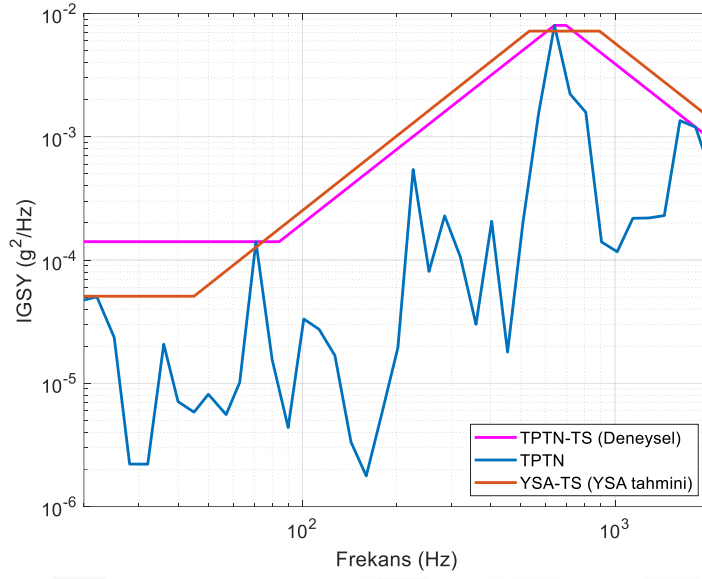
Şekil Ek. 110 : Test noktası 1 için YSA tahmini ve TPTN test sonucu karşılaştırması.

Test noktası 3 için TPTN spektrumu, TPTN test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 111’de verilmiştir.



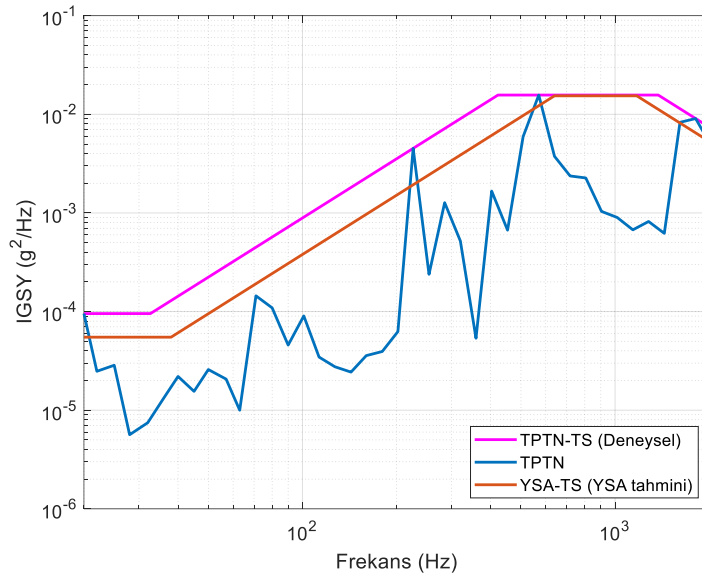
Şekil Ek. 111 : Test noktası 3 için YSA tahmini ve TPTN test sonucu karşılaştırması.

Test noktası 4 için TPTN spektrumu, TPTN test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 112’de verilmiştir.



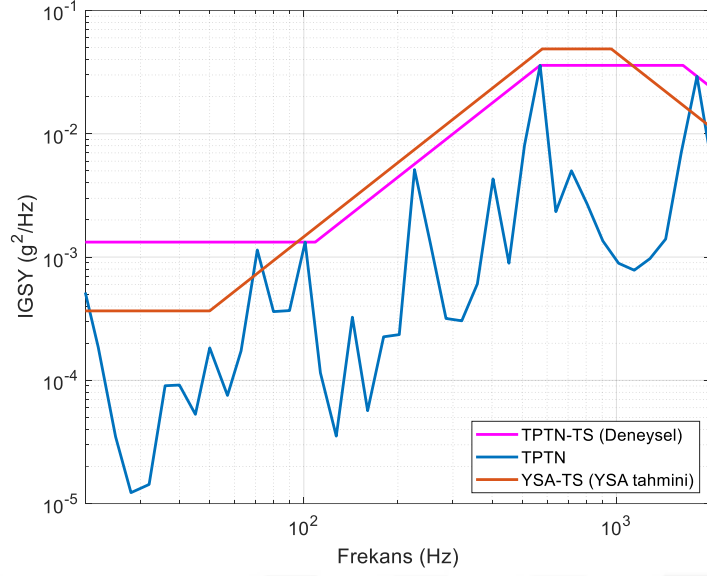
Şekil Ek. 112 : Test noktası 4 için YSA tahmini ve TPTN test sonucu karşılaştırması.

Test noktası 5 için TPTN spektrumu, TPTN test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 113'te verilmiştir.



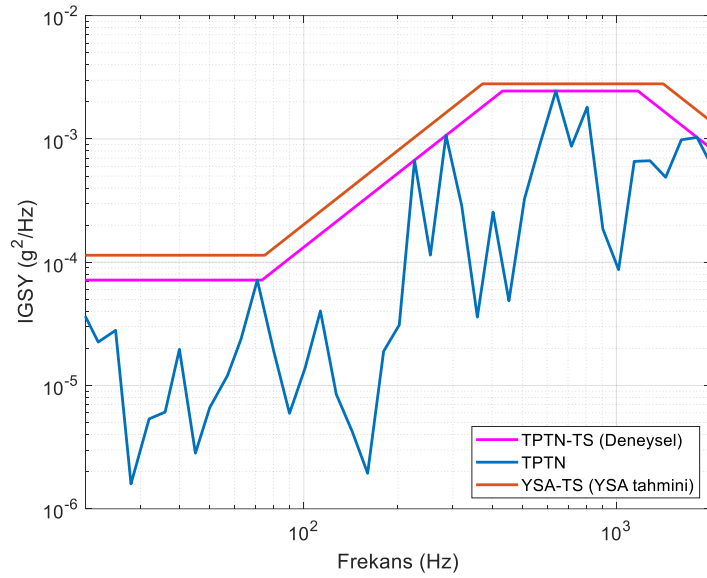
Şekil Ek. 113 : Test noktası 5 için YSA tahmini ve TPTN test sonucu karşılaştırması.

Test noktası 6 için TPTN spektrumu, TPTN test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 114'te verilmiştir.



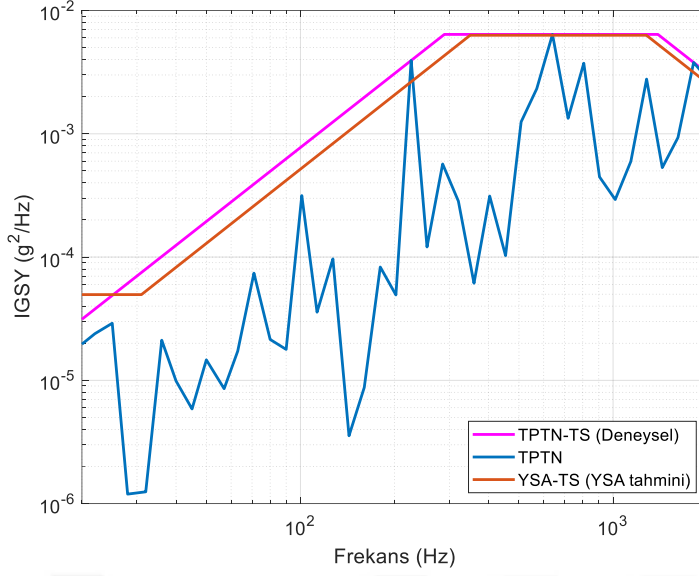
Şekil Ek. 114 : Test noktası 6 için YSA tahmini ve TPTN test sonucu karşılaştırması.

Test noktası 7 için TPTN spektrumu, TPTN test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 115'te verilmiştir.



Şekil Ek. 115 : Test noktası 7 için YSA tahmini ve TPTN test sonucu karşılaştırması.

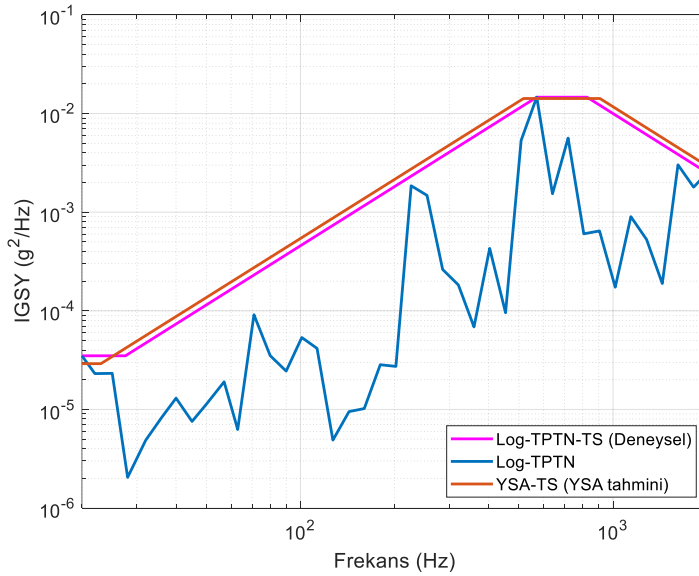
Test noktası 8 için TPTN spektrumu, TPTN test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 116'da verilmiştir.



Şekil Ek. 116 : Test noktası 8 için YSA tahmini ve TPTN test sonucu karşılaştırması.

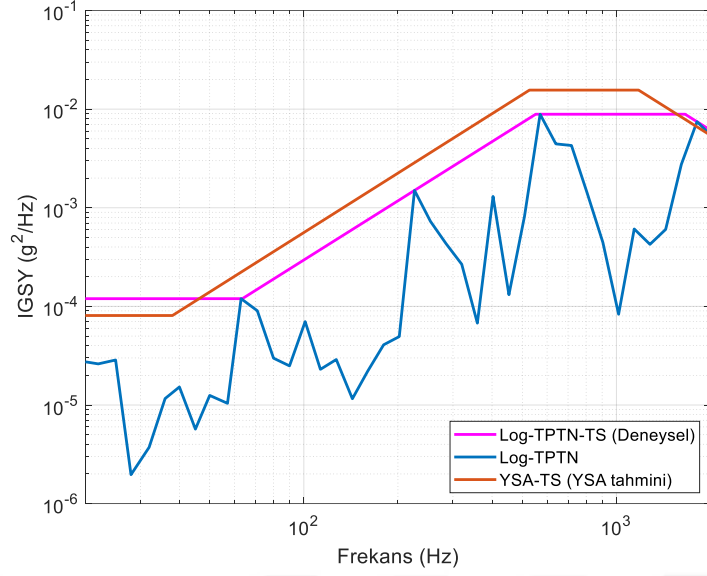
Log-TPTN Tahminleri

Test noktası 1 için Log-TPTN spektrumu, Log-TPTN test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 117’de verilmiştir.



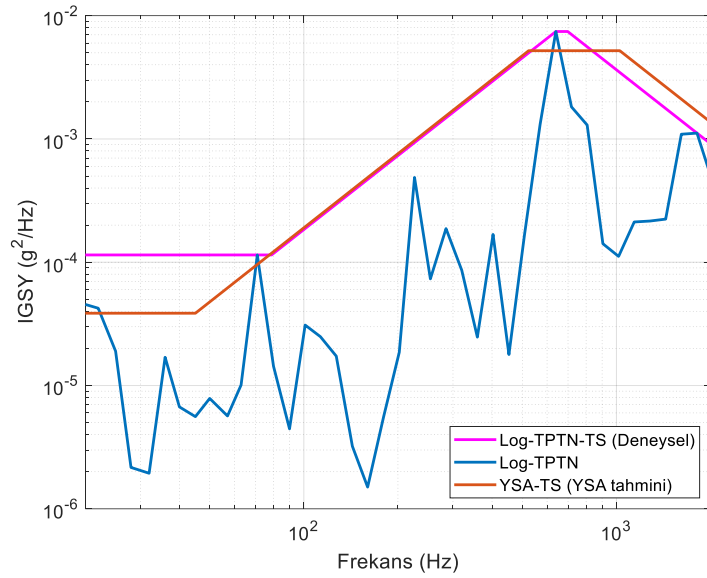
Şekil Ek. 117 : Test noktası 1 için YSA tahmini ve Log-TPTN test sonucu karşılaştırması.

Test noktası 3 için Log-TPTN spektrumu, Log-TPTN test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 118’de verilmiştir.



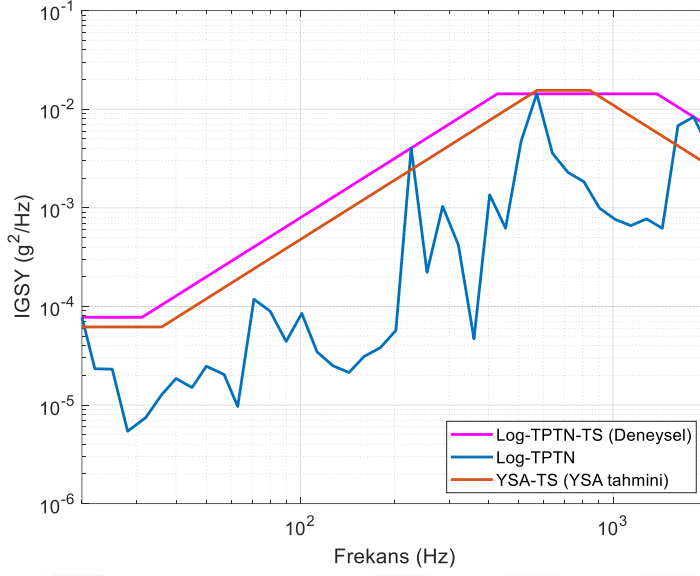
Şekil Ek. 118 : Test noktası 3 için YSA tahmini ve Log-TPTN test sonucu karşılaştırması.

Test noktası 4 için Log-TPTN spektrumu, Log-TPTN test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 119’da verilmiştir.



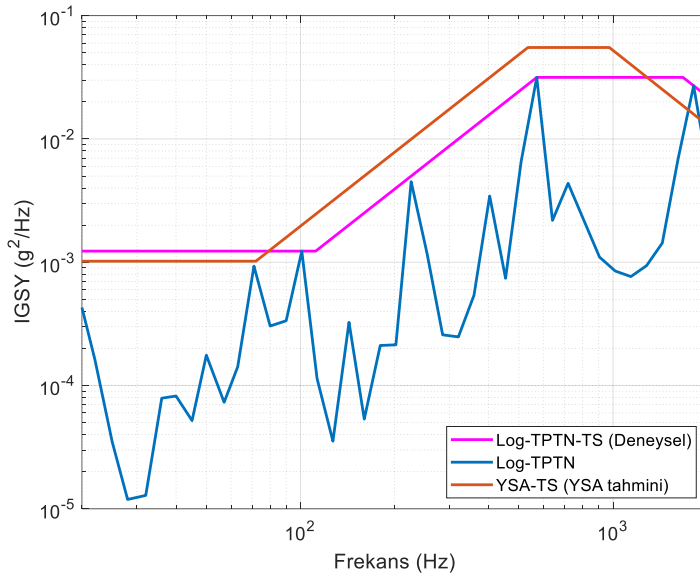
Şekil Ek. 119 : Test noktası 4 için YSA tahmini ve Log-TPTN test sonucu karşılaştırması.

Test noktası 5 için Log-TPTN spektrumu, Log-TPTN test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 120’de verilmiştir.



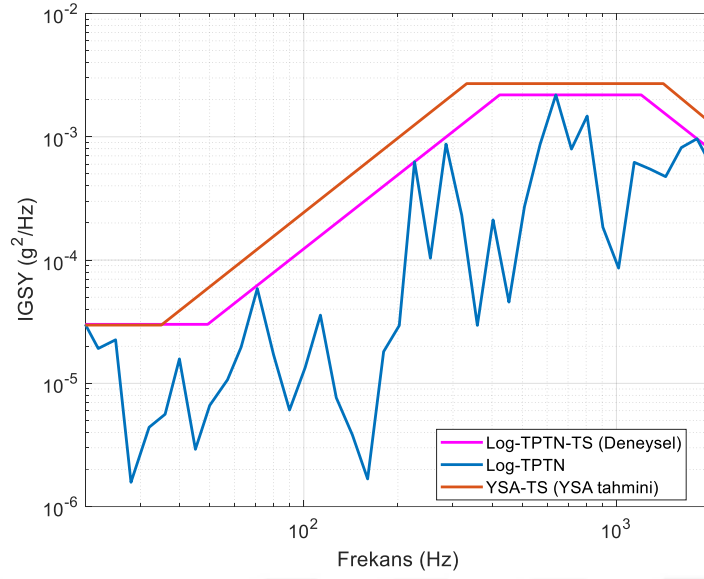
Şekil Ek. 120 : Test noktası 5 için YSA tahmini ve Log-TPTN test sonucu karşılaştırması.

Test noktası 6 için Log-TPTN spektrumu, Log-TPTN test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 121’de verilmiştir.



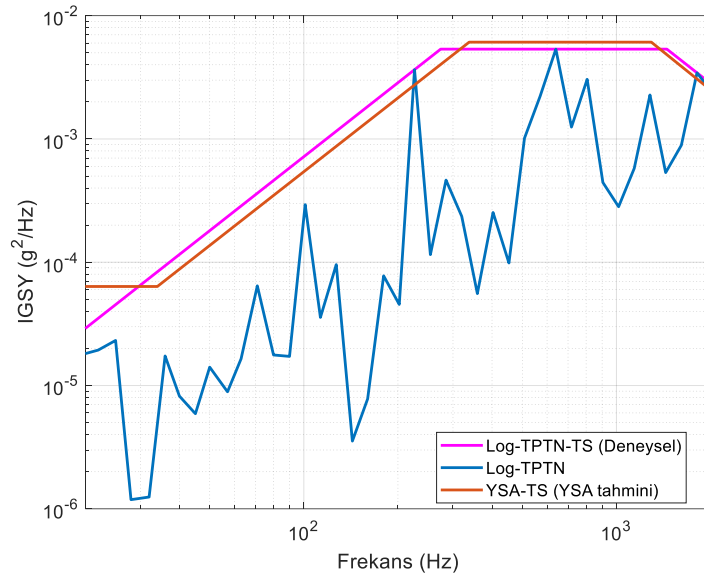
Şekil Ek. 121 : Test noktası 6 için YSA tahmini ve Log-TPTN test sonucu karşılaştırması.

Test noktası 7 için Log-TPTN spektrumu, Log-TPTN test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 122’de verilmiştir.



Şekil Ek. 122 : Test noktası 7 için YSA tahmini ve Log-TPTN test sonucu karşılaştırması.

Test noktası 8 için Log-TPTN spektrumu, Log-TPTN test spektrumu ve YSA tahmini test spektrumu sonuçları Şekil Ek. 123'te verilmiştir.



Şekil Ek. 123 : Test noktası 8 için YSA tahmini ve Log-TPTN test sonucu karşılaştırması.

EK 7

NTL için test noktalarında YSA tahmini değerleri Çizelge Ek. 14'te verilmiştir.

Çizelge Ek. 14 : Test noktalarında YSA tahmini NTL değerleri.

Durum	$W_1 (g^2/Hz)$	$W_2 (g^2/Hz)$	$f_1 (Hz)$	$f_2 (Hz)$
1	3.71E-05	0.0269	584	1585
2	1.98E-04	0.1848	680	1616
3	3.75E-05	0.0497	576	1557
4	4.76E-05	0.0157	483	779
5	4.98E-05	0.0512	555	1529
6	1.45E-04	0.1019	634	1671
7	1.82E-05	0.0049	400	1586
8	4.98E-05	0.0108	318	1733

DTL için test noktalarında YSA tahmini değerleri Çizelge Ek. 15'te verilmiştir.

Çizelge Ek. 15 : Test noktalarında YSA tahmini DTL değerleri.

Durum	$W_1 (g^2/Hz)$	$W_2 (g^2/Hz)$	$f_1 (Hz)$	$f_2 (Hz)$
1	2.28E-05	0.0200	592	1432
2	3.48E-04	0.0482	553	1551
3	3.34E-05	0.0259	457	1458
4	2.43E-05	0.0158	679	1073
5	3.83E-05	0.0189	586	1332
6	2.49E-04	0.0376	457	1369
7	1.47E-05	0.0022	435	1568
8	4.38E-05	0.0067	435	1688

NKL için test noktalarında YSA tahmini değerleri Çizelge Ek. 16'da verilmiştir.

Çizelge Ek. 16 : Test noktalarında YSA tahmini NKL değerleri.

Durum	$W_1 (g^2/Hz)$	$W_2 (g^2/Hz)$	$f_1 (Hz)$	$f_2 (Hz)$
1	6.39E-05	0.0667	595	1492
2	1.23E-04	0.5571	721	1819
3	1.48E-04	0.1114	841	1533
4	6.62E-05	0.0176	1055	1241
5	1.04E-04	0.0754	570	1435
6	1.48E-04	0.2949	597	1717
7	2.70E-05	0.0104	586	1672
8	1.10E-04	0.0233	330	1689

ZL için test noktalarında YSA tahmini değerleri Çizelge Ek. 17'de verilmiştir.

Çizelge Ek. 17 : Test noktalarında YSA tahmini ZL değerleri.

Durum	$W_1(g^2/Hz)$	$W_2(g^2/Hz)$	$f_1(Hz)$	$f_2(Hz)$
1	2.38E-05	0.0106	511	1054
2	3.08E-04	0.0642	619	859
3	7.34E-05	0.0083	501	1078
4	3.05E-05	0.0027	426	1109
5	2.97E-05	0.0124	602	1058
6	2.70E-04	0.0411	596	936
7	3.52E-05	0.0017	385	1342
8	4.41E-05	0.0038	362	1260

TPTN için test noktalarında YSA tahmini değerleri Çizelge Ek. 18’de verilmiştir.

Çizelge Ek. 18 : Test noktalarında YSA tahmini TPTN değerleri.

Durum	$W_1(g^2/Hz)$	$W_2(g^2/Hz)$	$f_1(Hz)$	$f_2(Hz)$
1	4.16E-05	0.0100	441	1215
2	4.05E-04	0.0643	569	804
3	1.17E-04	0.0164	591	1155
4	5.09E-05	0.0072	532	892
5	5.50E-05	0.0154	640	1173
6	3.66E-04	0.0488	579	963
7	1.14E-04	0.0028	373	1412
8	4.96E-05	0.0063	349	1278

Log-TPTN için test noktalarında YSA tahmini değerleri Çizelge Ek. 19’da verilmiştir.

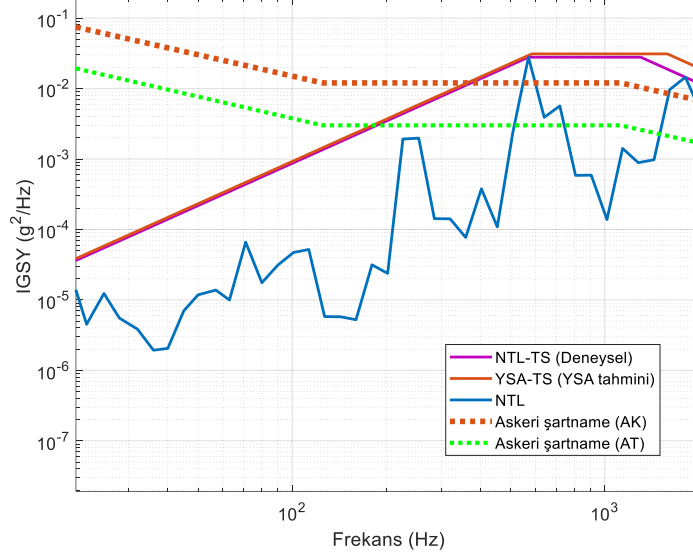
Çizelge Ek. 19 : Test noktalarında YSA tahmini Log-TPTN değerleri.

Durum	$W_1(g^2/Hz)$	$W_2(g^2/Hz)$	$f_1(Hz)$	$f_2(Hz)$
1	2.91E-05	0.0142	517	908
2	7.55E-04	0.1072	542	866
3	8.08E-05	0.0156	527	1177
4	3.86E-05	0.0052	524	1025
5	6.19E-05	0.0155	571	842
6	1.02E-03	0.0552	534	973
7	2.97E-05	0.0027	332	1412
8	6.36E-05	0.0061	338	1293

EK 8

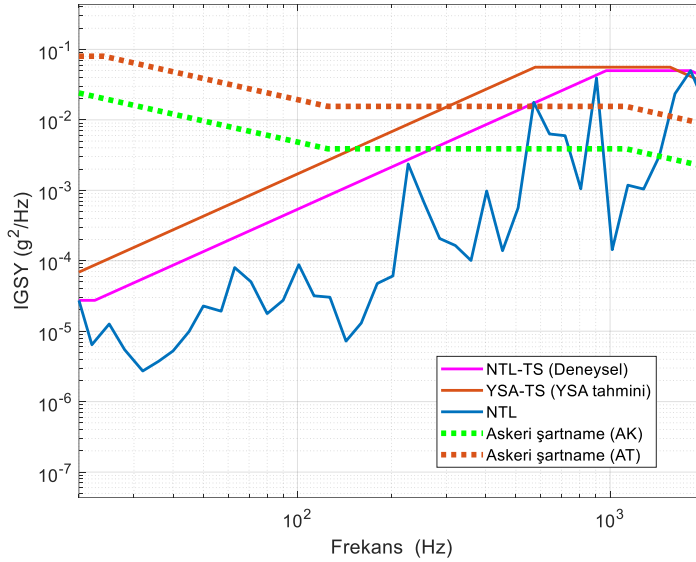
NTL Karşılaştırması

Test koşulu 1’de NTL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 124’te verilmiştir.



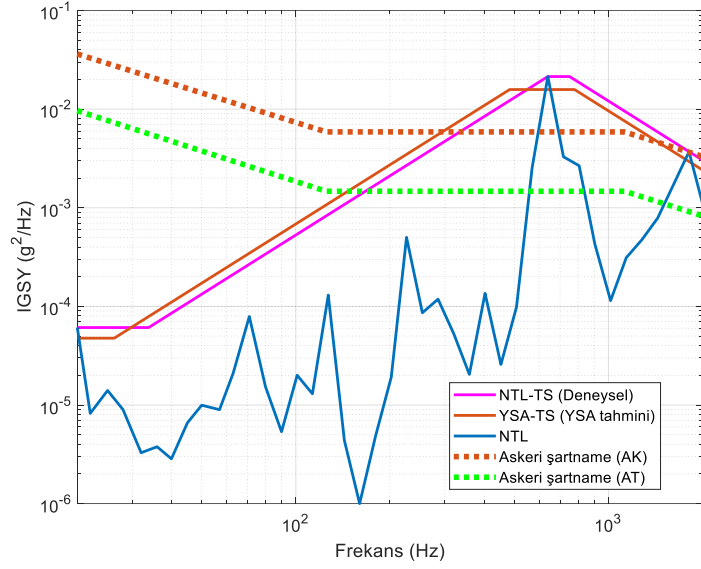
Şekil Ek. 124 : Test noktası 1’de NTL ve askeri şartname karşılaştırması.

Test koşulu 3’te NTL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 125’te verilmiştir.



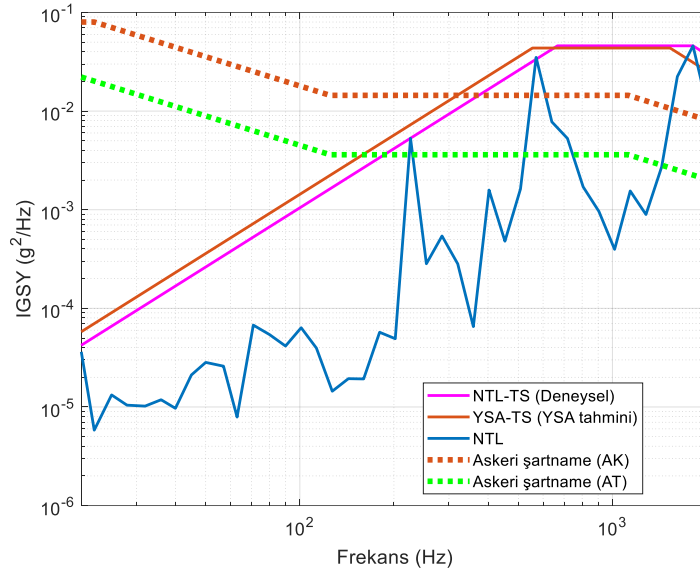
Şekil Ek. 125 : Test noktası 3’te NTL ve askeri şartname karşılaştırması.

Test koşulu 4’te NTL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 126’da verilmiştir.



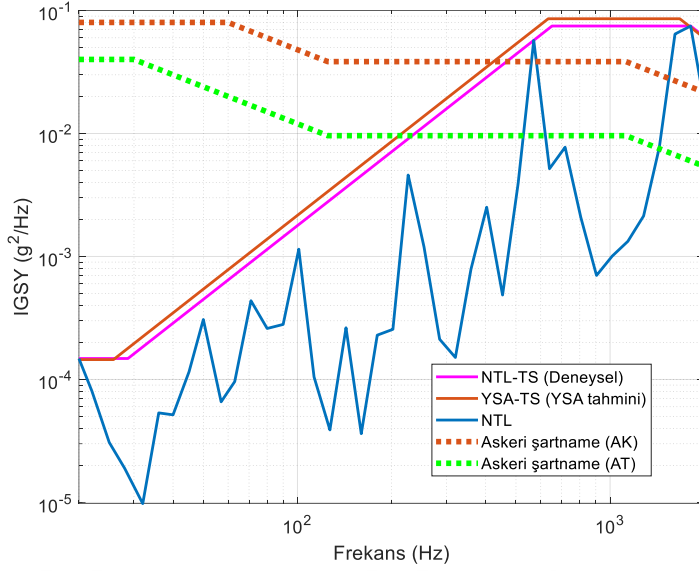
Şekil Ek. 126 : Test noktası 4'te NTL ve askeri şartname karşılaştırması.

Test koşulu 5'de NTL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 127'de verilmiştir.



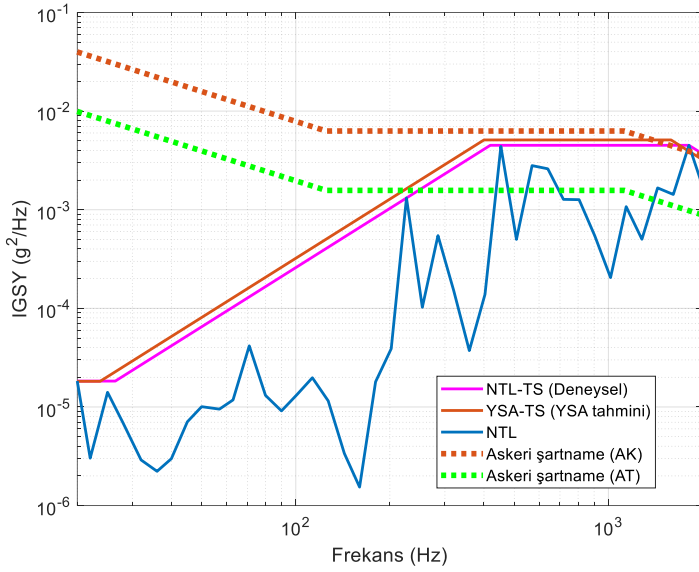
Şekil Ek. 127 : Test noktası 5'te NTL ve askeri şartname karşılaştırması.

Test koşulu 6'da NTL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 128'de verilmiştir.



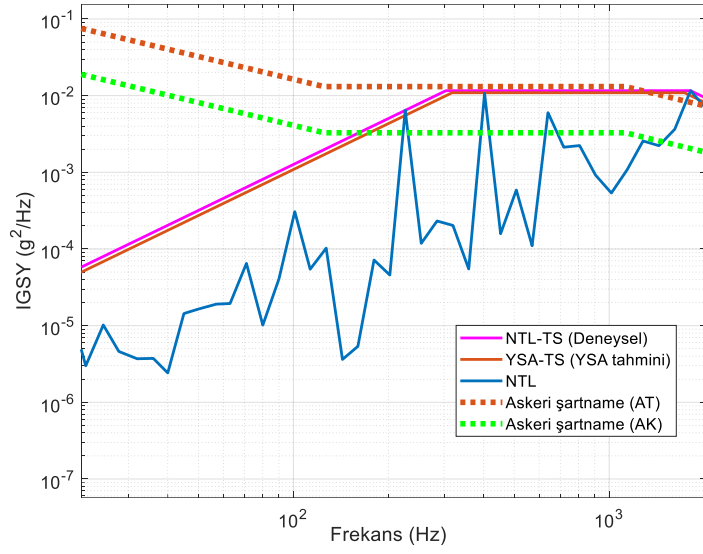
Şekil Ek. 128 : Test noktası 6'da NTL ve askeri şartname karşılaştırması.

Test koşulu 7'de NTL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 129'da verilmiştir.



Şekil Ek. 129 : Test noktası 7'de NTL ve askeri şartname karşılaştırması.

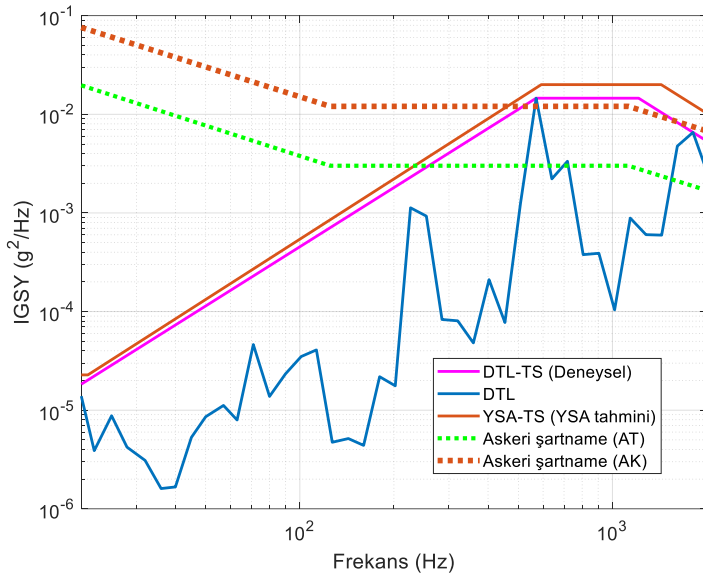
Test koşulu 8'de NTL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 130'da verilmiştir.



Şekil Ek. 130 : Test noktası 8’de NTL ve askeri şartname karşılaştırması.

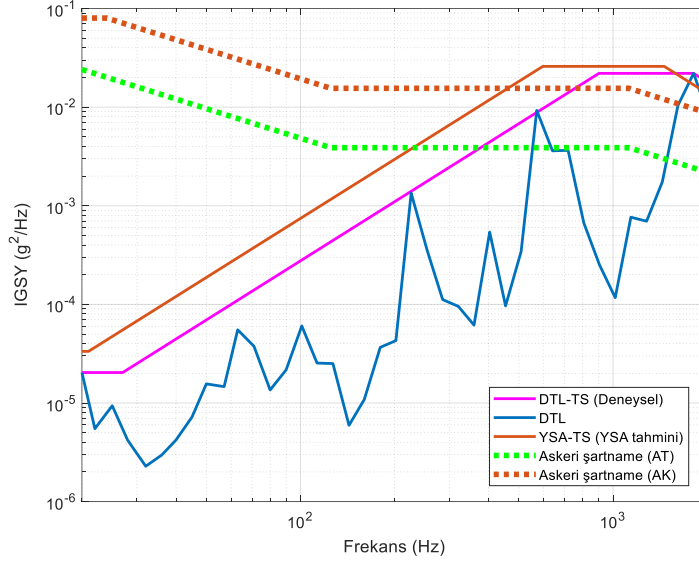
DTL Karşılaştırması

Test koşulu 1’de DTL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 131’de verilmiştir.



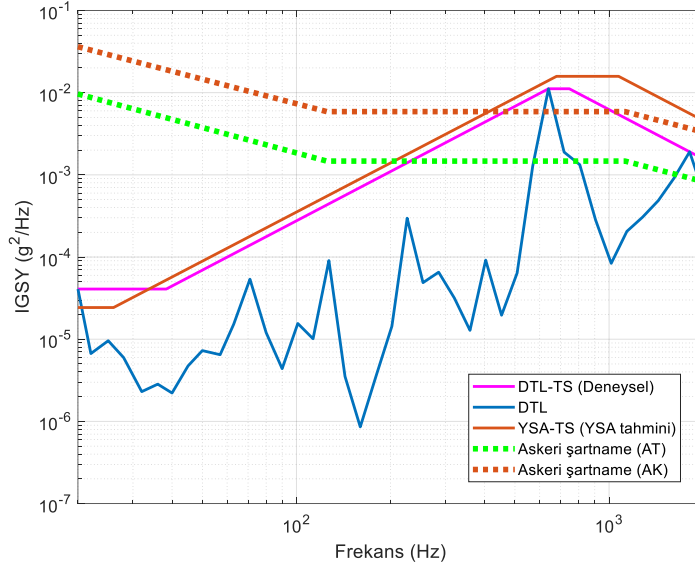
Şekil Ek. 131 : Test noktası 1’de DTL ve askeri şartname karşılaştırması.

Test koşulu 3’te DTL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 132’de verilmiştir.



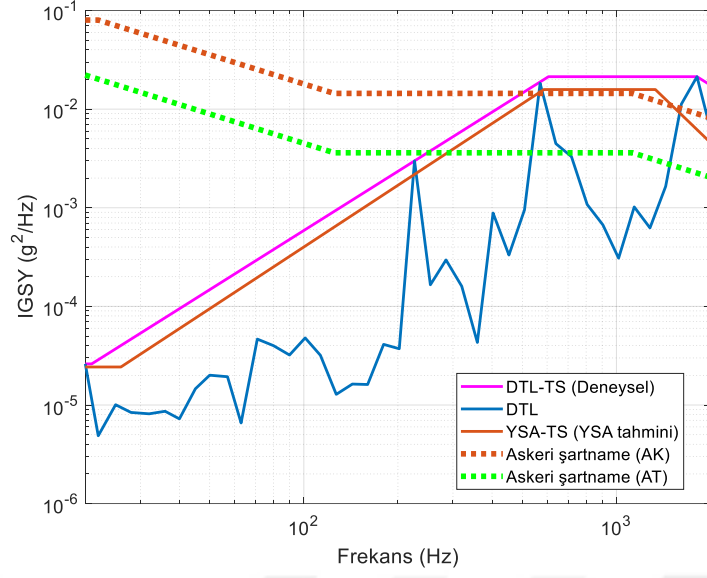
Şekil Ek. 132 : Test noktası 3'de DTL ve askeri şartname karşılaştırması.

Test koşulu 4'te DTL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 133'te verilmiştir.



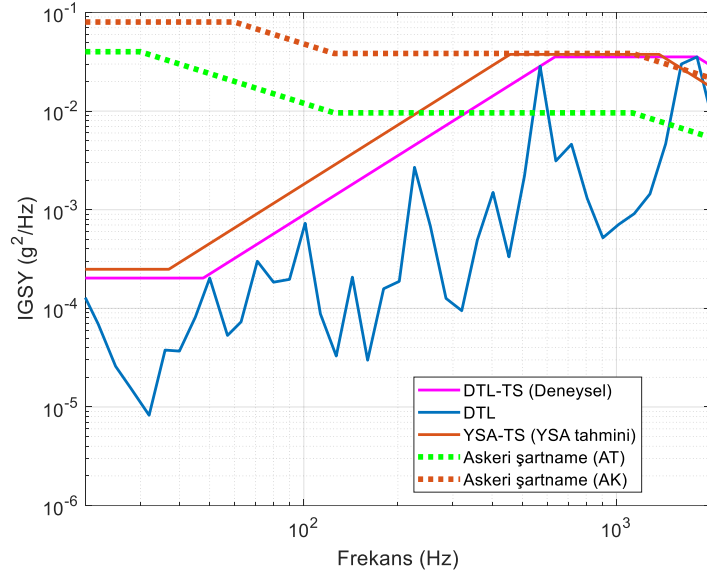
Şekil Ek. 133 : Test noktası 4'te DTL ve askeri şartname karşılaştırması.

Test koşulu 5'de DTL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 134'te verilmiştir.



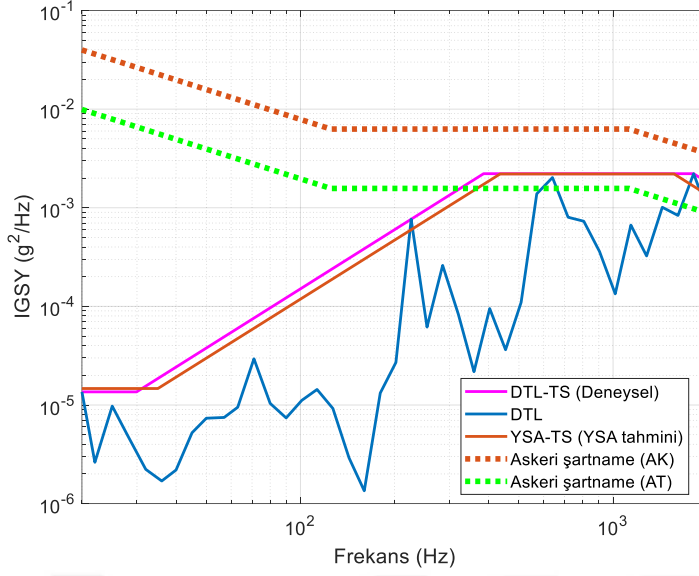
Şekil Ek. 134 : Test noktası 5'te DTL ve askeri şartname karşılaştırması.

Test koşulu 6'da DTL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 135'te verilmiştir.



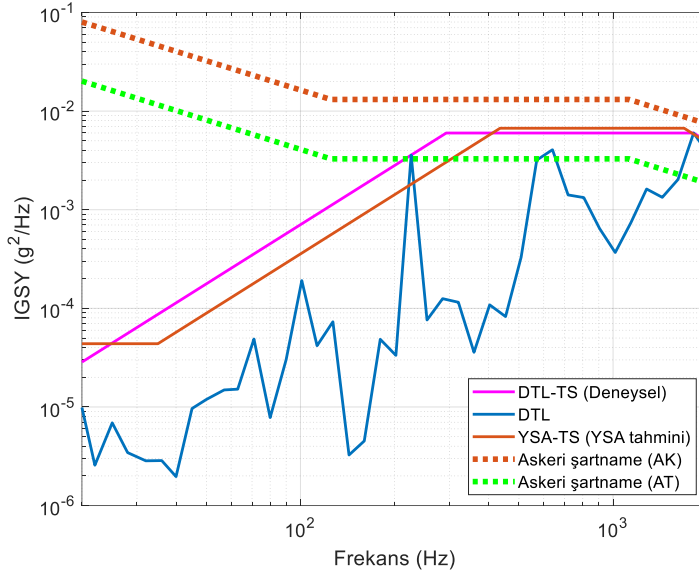
Şekil Ek. 135 : Test noktası 6'da DTL ve askeri şartname karşılaştırması.

Test koşulu 7'de DTL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 136'da verilmiştir.



Şekil Ek. 136 : Test noktası 7'de DTL ve askeri şartname karşılaştırması.

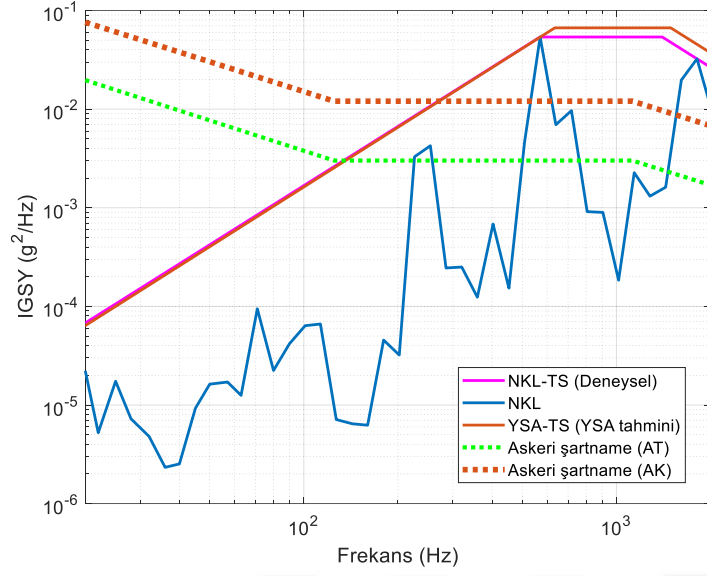
Test koşulu 8'de DTL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 137'de verilmiştir.



Şekil Ek. 137 : Test noktası 8'de DTL ve askeri şartname karşılaştırması.

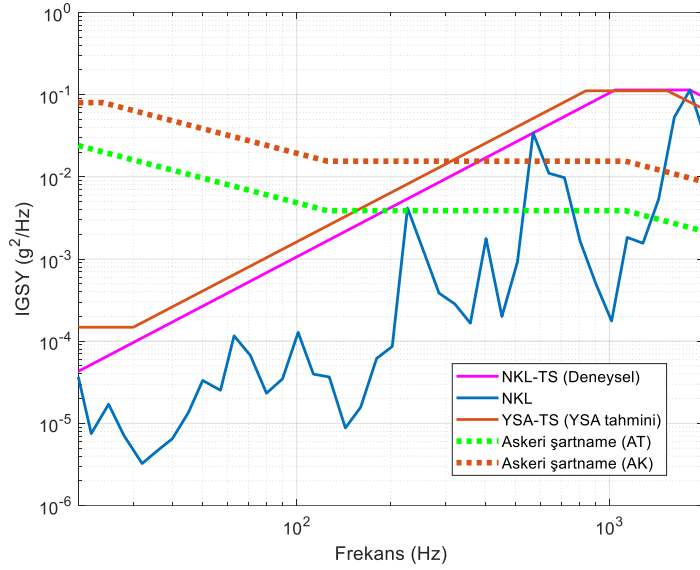
NKL Karşılaştırması

Test koşulu 1'de NKL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 138'de verilmiştir.



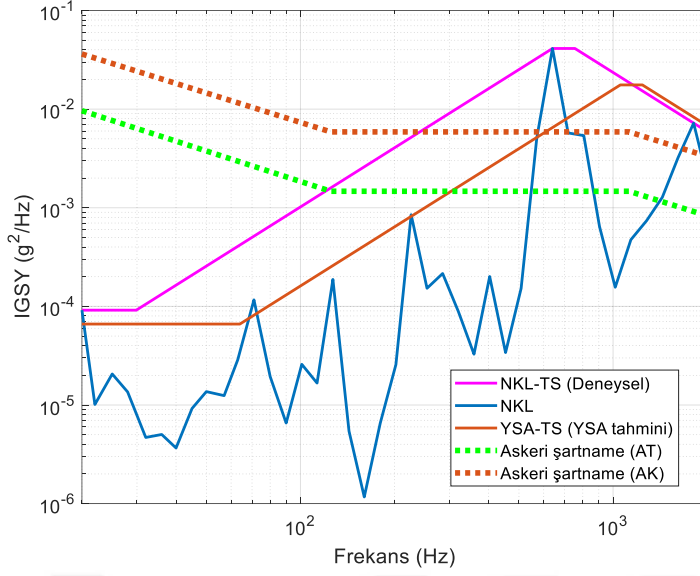
Şekil Ek. 138 : Test noktası 1’de NKL ve askeri şartname karşılaştırması.

Test koşulu 3’te NKL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 139’da verilmiştir.



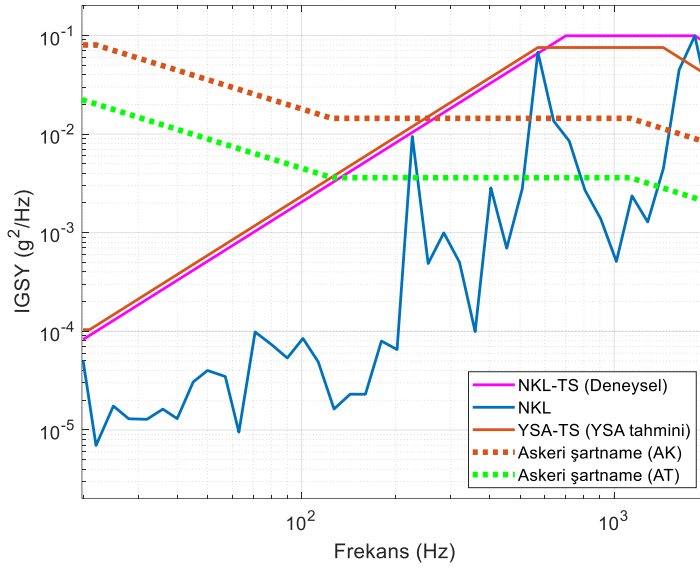
Şekil Ek. 139 : Test noktası 3’te NKL ve askeri şartname karşılaştırması.

Test koşulu 4’te NKL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 140’da verilmiştir.



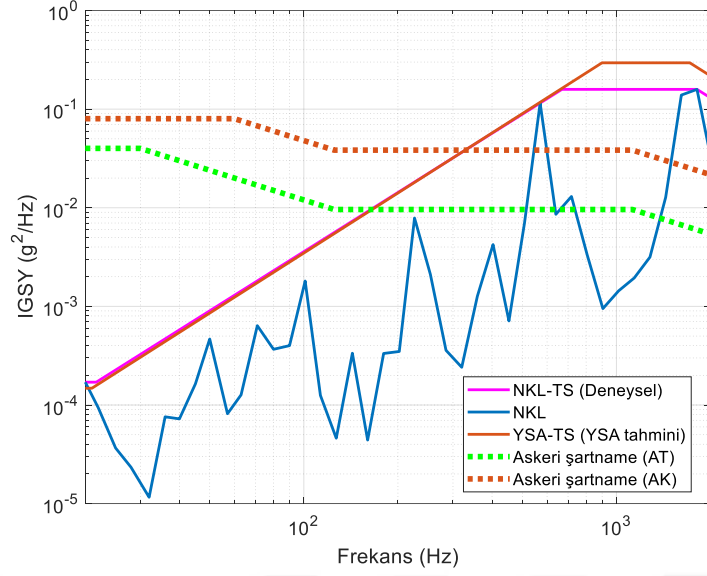
Şekil Ek. 140 : Test noktası 4'te NKL ve askeri şartname karşılaştırması.

Test koşulu 5'de NKL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 141'de verilmiştir.



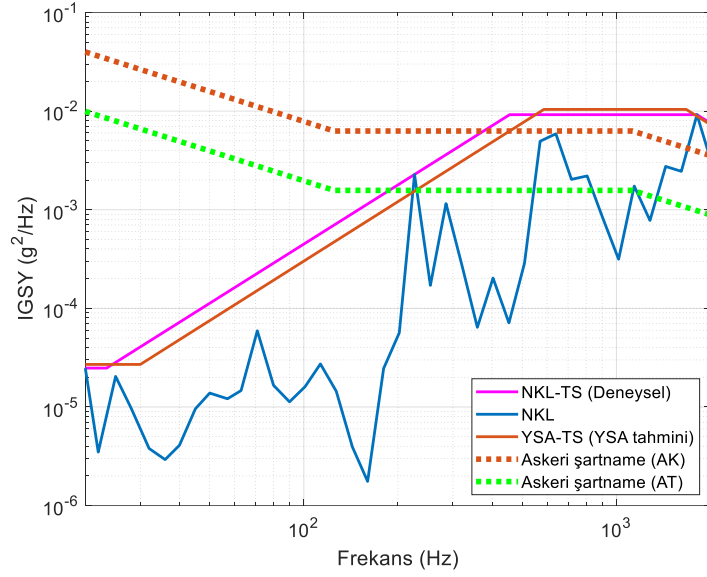
Şekil Ek. 141 : Test noktası 5'te NKL ve askeri şartname karşılaştırması.

Test koşulu 6'da NKL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 142'de verilmiştir.



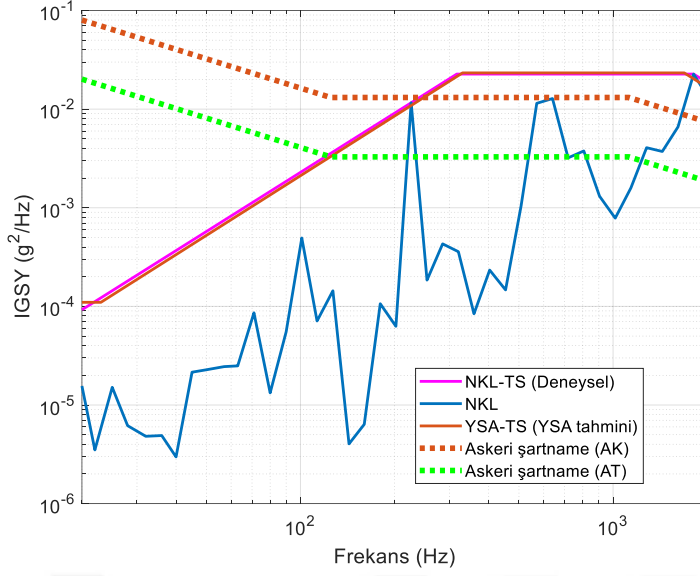
Şekil Ek. 142 : Test noktası 6'da NKL ve askeri şartname karşılaştırması.

Test koşulu 7'de NKL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 143'te verilmiştir.



Şekil Ek. 143 : Test noktası 7'de NKL ve askeri şartname karşılaştırması.

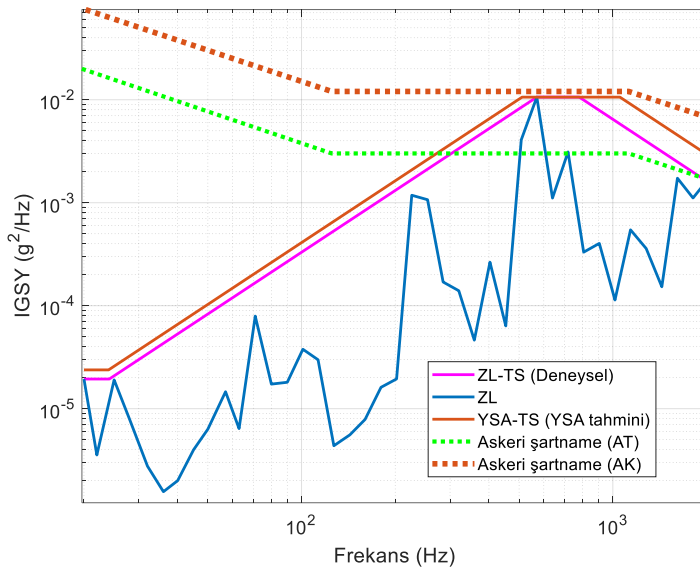
Test koşulu 8'de NKL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 144'te verilmiştir.



Şekil Ek. 144 : Test noktası 8'de NKL ve askeri şartname karşılaştırması.

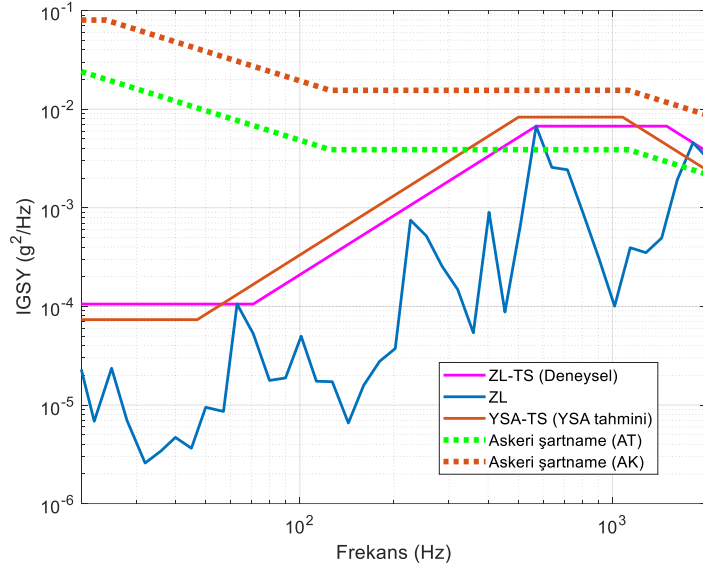
ZL Karşılaştırması

Test koşulu 1'de ZL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 145'te verilmiştir.



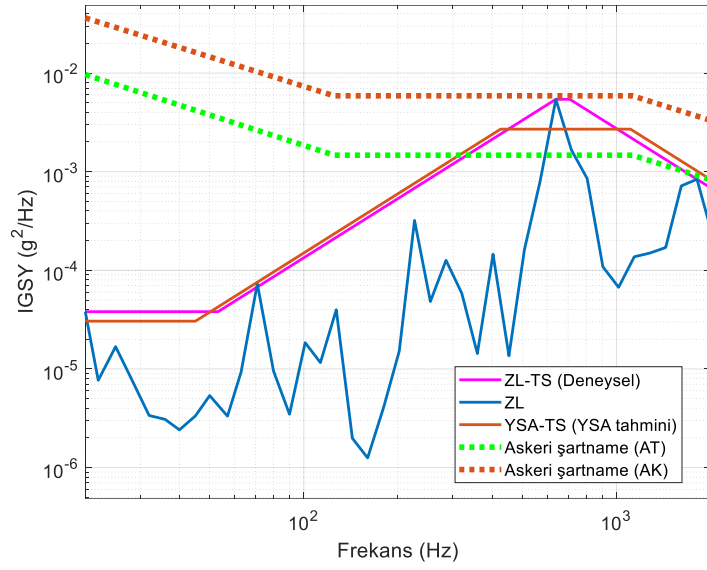
Şekil Ek. 145 : Test noktası 1'de ZL ve askeri şartname karşılaştırması.

Test koşulu 3'te ZL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 146'da verilmiştir.



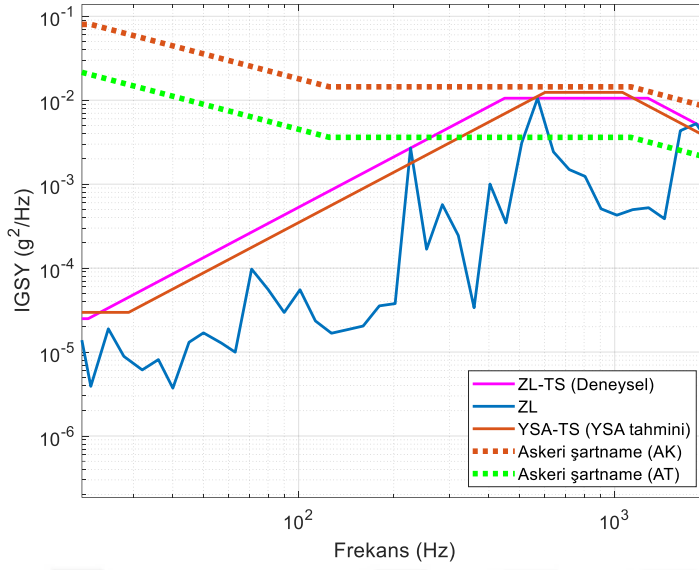
Şekil Ek. 146 : Test noktası 3'te ZL ve askeri şartname karşılaştırması.

Test koşulu 4'te NTL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 147'de verilmiştir.



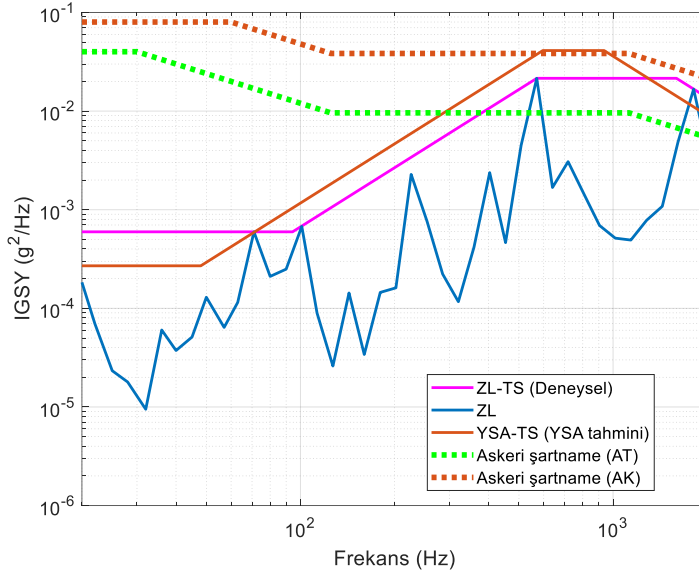
Şekil Ek. 147 : Test noktası 4'te ZL ve askeri şartname karşılaştırması.

Test koşulu 5'de ZL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 148'de verilmiştir.



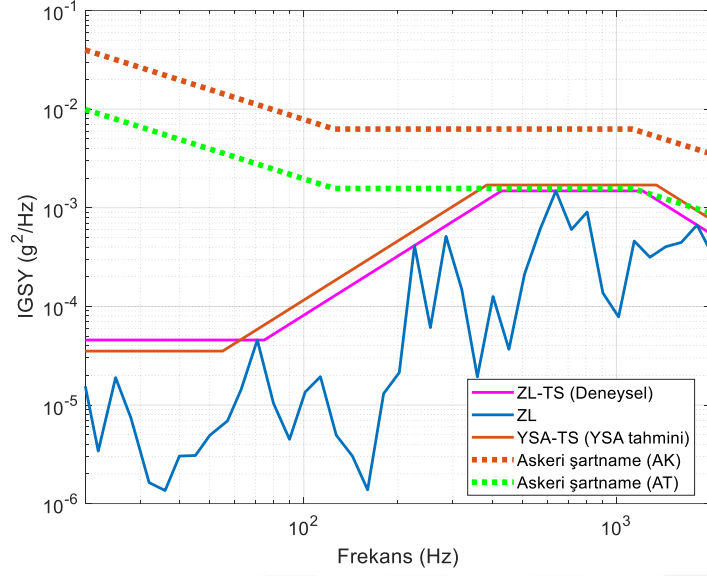
Şekil Ek. 148 : Test noktası 5'de ZL ve askeri şartname karşılaştırması.

Test koşulu 6'da ZL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 149'da verilmiştir.



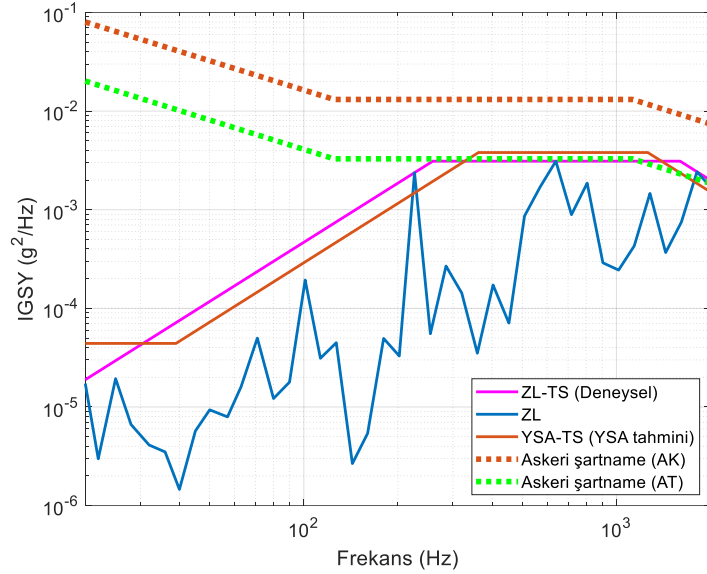
Şekil Ek. 149 : Test noktası 6'da ZL ve askeri şartname karşılaştırması.

Test koşulu 7'de ZL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 150'de verilmiştir.



Şekil Ek. 150 : Test noktası 7’de ZL ve askeri şartname karşılaştırması.

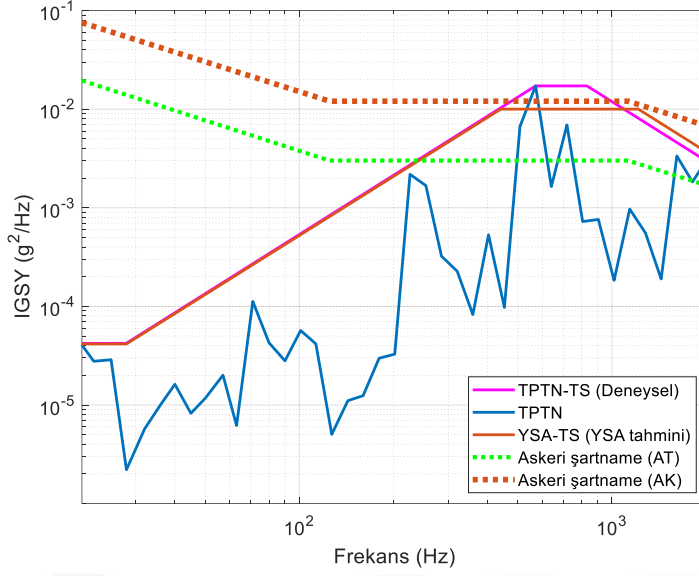
Test koşulu 8’de ZL ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 151’de verilmiştir.



Şekil Ek. 151 : Test noktası 8’de ZL ve askeri şartname karşılaştırması.

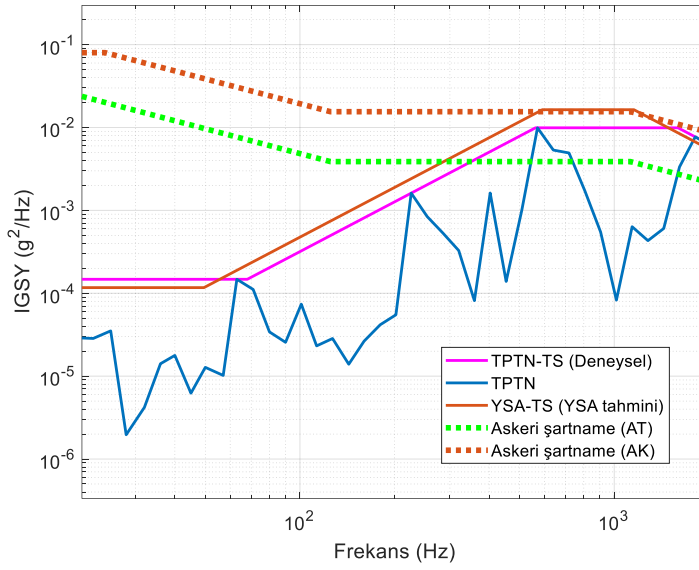
TPTN Karşılaştırması

Test koşulu 1’de TPTN ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 152’de verilmiştir.



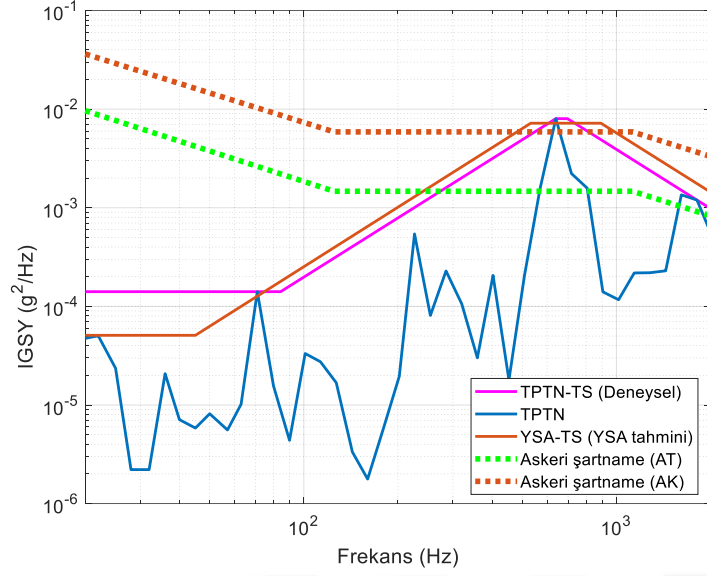
Şekil Ek. 152 : Test noktası 1'de TPTN ve askeri şartname karşılaştırması.

Test koşulu 3'te TPTN ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 153'te verilmiştir.



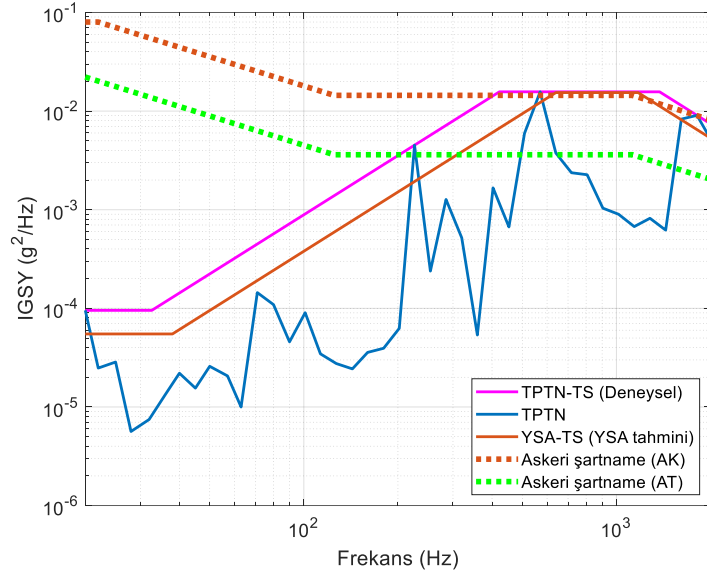
Şekil Ek. 153 : Test noktası 3'te TPTN ve askeri şartname karşılaştırması.

Test koşulu 4'te TPTN ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 154'te verilmiştir.



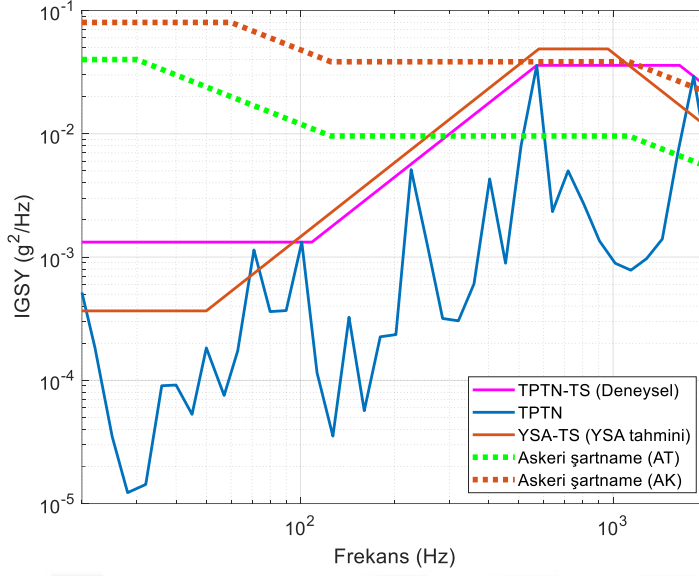
Şekil Ek. 154 : Test noktası 4'te TPTN ve askeri şartname karşılaştırması.

Test koşulu 5'de TPTN ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 155'te verilmiştir.



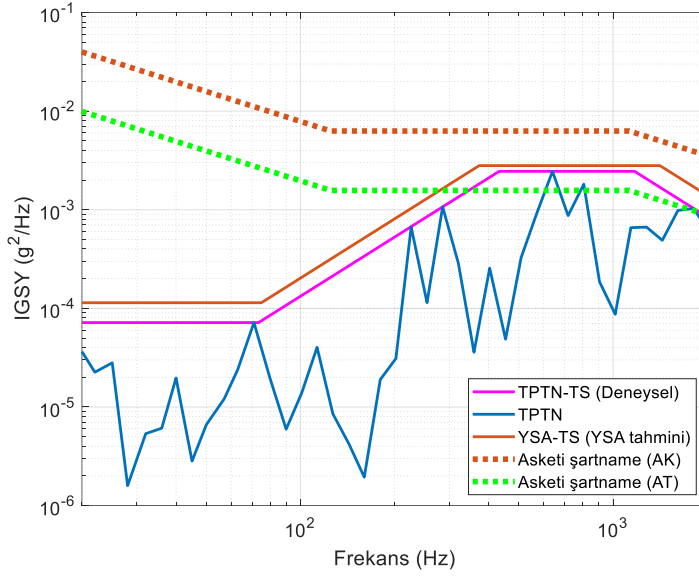
Şekil Ek. 155 : Test noktası 5'te TPTN ve askeri şartname karşılaştırması.

Test koşulu 6'da TPTN ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 156'da verilmiştir.



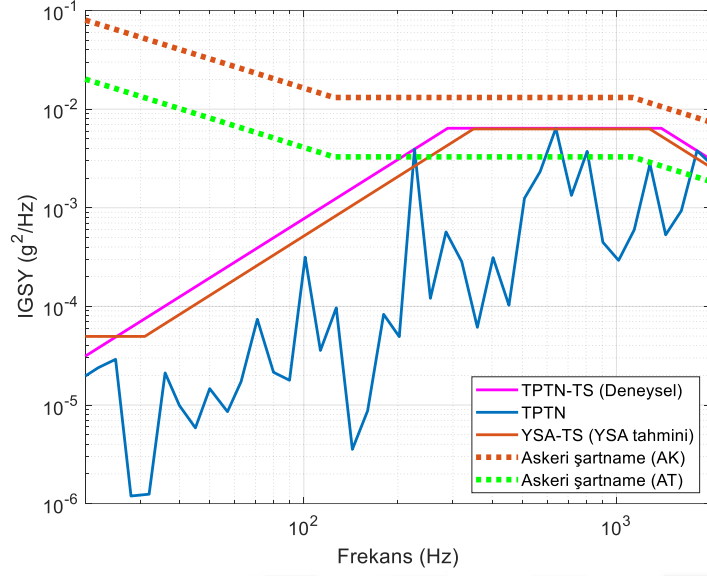
Şekil Ek. 156 : Test noktası 6'da TPTN ve askeri şartname karşılaştırması.

Test koşulu 7'de TPTN ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 157'de verilmiştir.



Şekil Ek. 157 : Test noktası 7'de TPTN ve askeri şartname karşılaştırması.

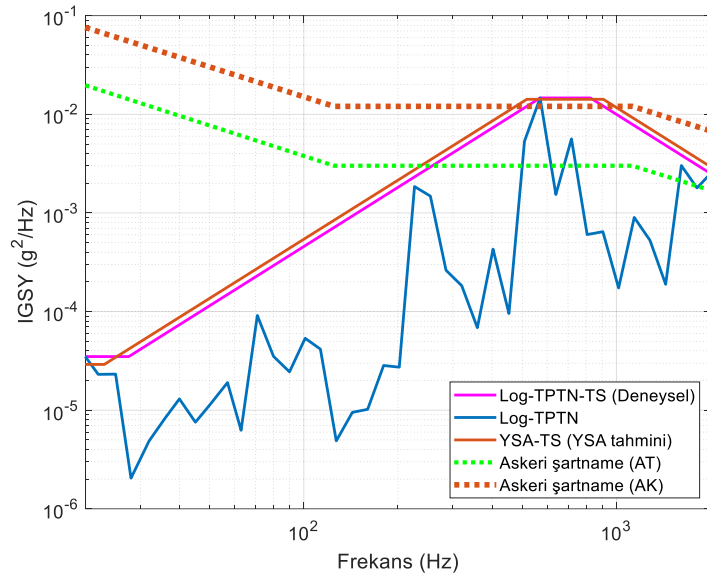
Test koşulu 8'de TPTN ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 158'de verilmiştir.



Şekil Ek. 158 : Test noktası 8’de TPTN ve askeri şartname karşılaştırması.

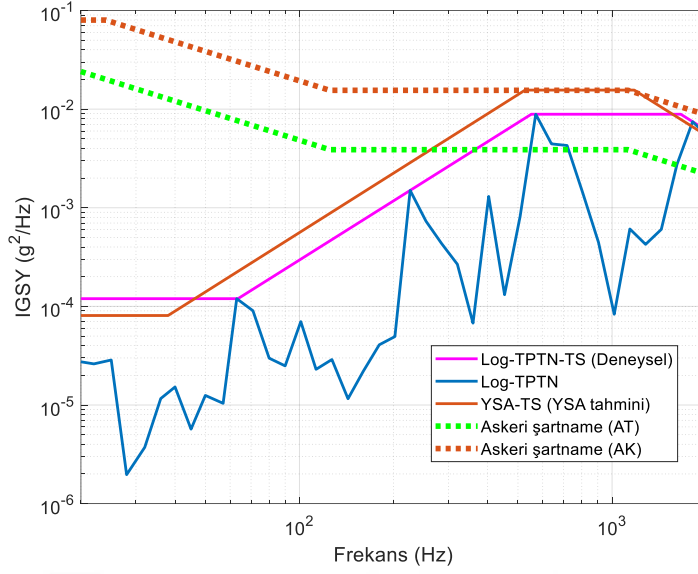
Log-TPTN Karşılaştırması

Test koşulu 1’de Log-TPTN ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 159’da verilmiştir.



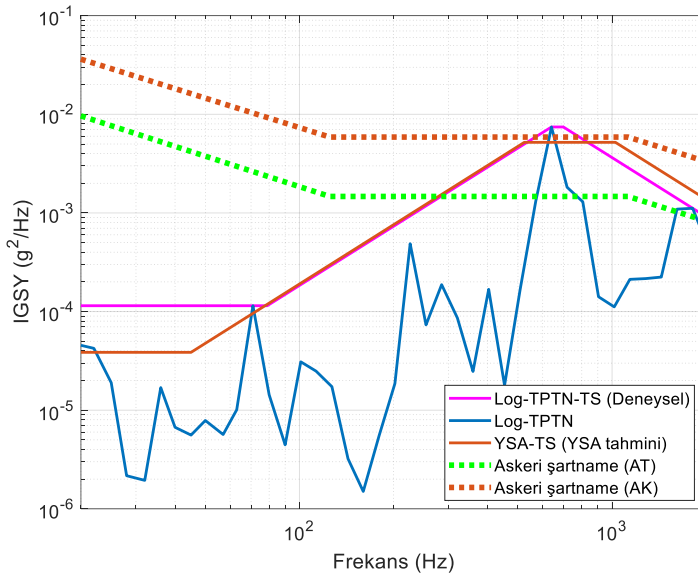
Şekil Ek. 159 : Test noktası 1’de Log-TPTN ve askeri şartname karşılaştırması.

Test koşulu 3’te Log-TPTN ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 160’da verilmiştir.



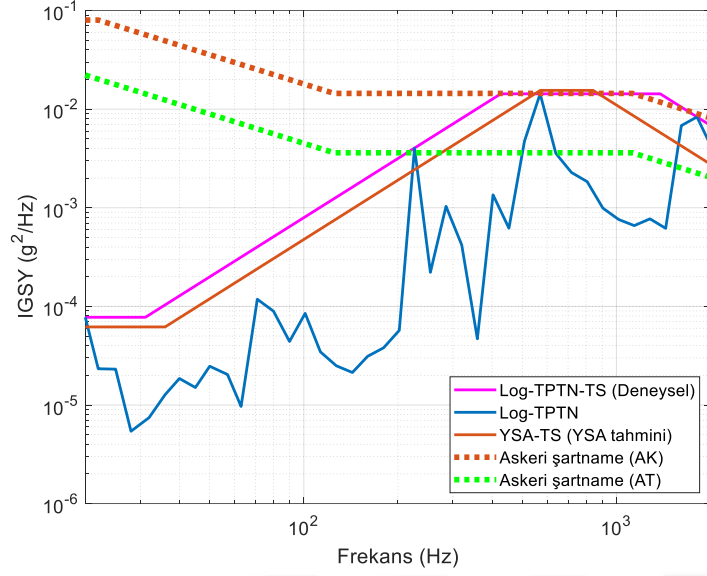
Şekil Ek. 160 : Test noktası 3'te Log-TPTN ve askeri şartname karşılaştırması.

Test koşulu 4'te Log-TPTN ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 161'de verilmiştir.



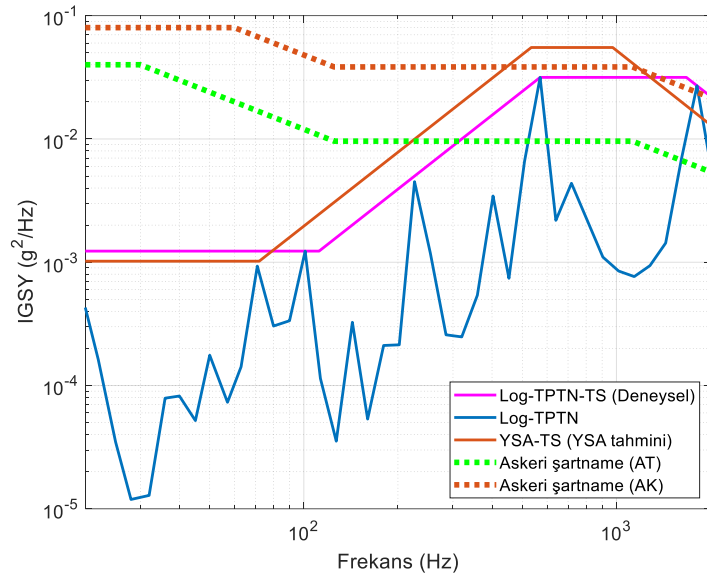
Şekil Ek. 161 : Test noktası 4'te Log-TPTN ve askeri şartname karşılaştırması.

Test koşulu 5'de Log-TPTN ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 162'de verilmiştir.



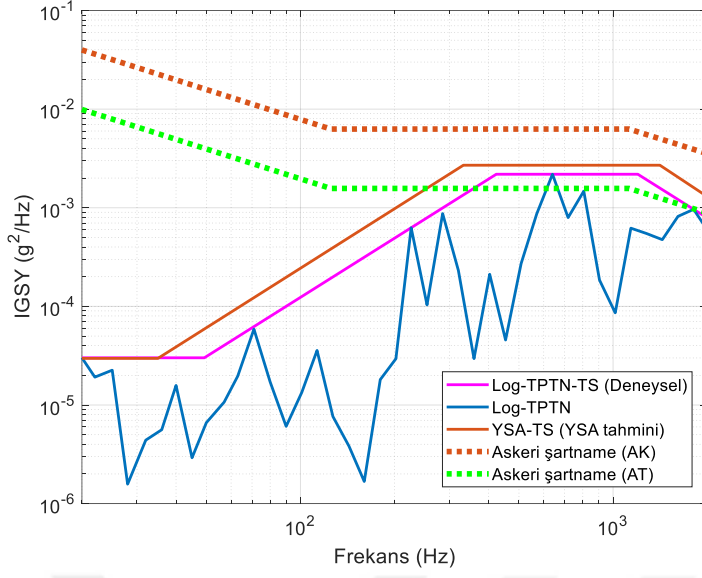
Şekil Ek. 162 : Test noktası 5'te Log-TPTN ve askeri şartname karşılaştırması.

Test koşulu 6'da Log-TPTN ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 163'te verilmiştir.



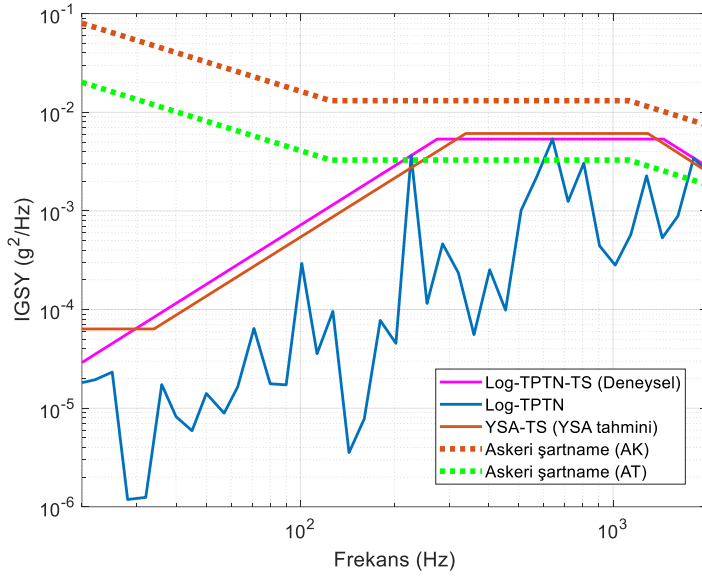
Şekil Ek. 163 : Test noktası 6'da Log-TPTN ve askeri şartname karşılaştırması.

Test koşulu 7'de Log-TPTN ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 164'te verilmiştir.



Şekil Ek. 164 : Test noktası 7’de Log-TPTN ve askeri şartname karşılaştırması.

Test koşulu 8’de Log-TPTN ve askeri şartnamenin önerdiği spektrumlar Şekil Ek. 165’te verilmiştir.



Şekil Ek. 165 : Test noktası 8’de Log-TPTN ve askeri şartname karşılaştırması.

EK 9

Öncelikle uçaktan alınan irtifa ve uçuş hızı bilgisi ile faydalı yükten alınan ivme verileri VTS'den çekilir.

```
B1=load('ucak.mat');  
  
B=B1.ucak;  
  
I1=dlmread('Ivme1.csv', ',', 1, 1);  
I2=dlmread('Ivme2.csv', ',', 1, 1);  
I3=dlmread('Ivme3.csv', ',', 1, 1);  
I4=dlmread('Ivme4.csv', ',', 1, 1);  
  
I=[I1;I2;I3;I4];
```

Uçaktaki zaman hücresi sıfırlanır. Uçak VTS'den Mach sayısı ve irtifa kanalları alınır.

```
M1time = B1(:,1)-B1(1,1);  
M1_Hiz = B1(:,16);  
M1_Irt = B1(:,8);
```

Faydalı yük verilerinde kullanılan örnekleme frekansı değeri girilir. Faydalı yük kanalındaki zaman ayarlaması yapılır.

```
Fs=10000;  
l=length(I(:,1));  
t1=0:(1/Fs):(l/Fs);  
t=t1(1:(length(t1)-1));  
t=t';
```

İvmeölçer verileri ayrıştırılır. Ardından uçuş verilerinden istenilen zaman aralıklarlarında Mach sayısı ve irtifa bilgileri bulunur.

```
I_CG_1=I(:,1);  
I_CG_2=I(:,2);  
I_CG_3=I(:,3);  
I_AK_1=I(:,10);  
I_AK_2=I(:,11);  
I_AK_3=I(:,12);  
I_HB_1=I(:,13);  
I_HB_2=I(:,14);
```

```
t2=2597;  
t1=2598;  
k2=find(t<t1);  
k2=max(k2);
```

```

k1=find(t>t2);
k1=min(k1);

BUL_Base = find (M1time<=(t1+t2)/2);
BUL_Base=max(BUL_Base)
P_M1_Hiz=M1_Hiz(BUL_Base)
P_M1_Irt=M1_Irt(BUL_Base)

F=20;
Fs=10000;

```

İlgili Mach sayısı ve irtifa zaman aralığında oluşan ivmeölçer İGSY'leri çıkarılır ve kaydedilir.

```

SP_CG_1=I_CG_1(k1:k2);
SP_CG_2=I_CG_2(k1:k2);
SP_CG_3=I_CG_3(k1:k2);
SP_AK_1=I_AK_1(k1:k2);
SP_AK_2=I_AK_2(k1:k2);
SP_AK_3=I_AK_3(k1:k2);
SP_HB_1=I_HB_1(k1:k2);
SP_HB_2=I_HB_2(k1:k2);

[PSD_CG_1, F_CG_1]=pwelch(SP_CG_z, [], [], Fs, Fs);
[PSD_CG_2, F_CG_2]=pwelch(SP_CG_y, [], [], Fs, Fs);
[PSD_CG_3, F_CG_3]=pwelch(SP_CG_x, [], [], Fs, Fs);
[PSD_AK_1, F_AK_1]=pwelch(SP_AK_x, [], [], Fs, Fs);
[PSD_AK_2, F_AK_2]=pwelch(SP_AK_y, [], [], Fs, Fs);
[PSD_AK_3, F_AK_3]=pwelch(SP_AK_z, [], [], Fs, Fs);
[PSD_HB_1, F_HB_1]=pwelch(SP_HB_x, [], [], Fs, Fs);
[PSD_HB_2, F_HB_2]=pwelch(SP_HB_y, [], [], Fs, Fs);

saveas(gcf, 'D1_H83_SRT-C233-01-151110.emf')
saveas(gcf, 'D1_H83_SRT-C233-01-151110.fig')
save('D1_PSD_data', 'PSD_CG_1', 'PSD_CG_2', 'PSD_CG_3',
'PSD_AK_1', 'PSD_AK_2', 'PSD_AK_3'...
, 'PSD_HB_1', 'PSD_HB_2')

```

Tekil ivmeölçerlerde kaydedilen İGSY verileri tolerans limitleri kullanılarak korunumlu hale getirilir. Öncelikle tolerans limitlerinde kullanılan parametreler hesaplanır.

```

N=8;
KK = norminv([0.5 0.95]);
TT=1.86;

```

```
Gama=0.5;
Beta=(1-Gama)^(1/N);
KKD=1.4692;
```

Tolerans limiti hesaplamalarında verileri normal dağılım özelliğine sokabilmek için logaritmik dönüşümler kullanılır.

```
L_PSD_AK_1=log10(PSD_AK_1);
L_PSD_AK_2=log10(PSD_AK_2);
L_PSD_AK_3=log10(PSD_AK_3);
L_PSD_CG_1=log10(PSD_CG_1);
L_PSD_CG_2=log10(PSD_CG_2);
L_PSD_CG_3=log10(PSD_CG_3);
L_PSD_HB_1=log10(PSD_HB_1);
L_PSD_HB_2=log10(PSD_HB_2);
```

```
H=[L_PSD_AK_1 L_PSD_AK_2 ...
    L_PSD_AK_3 L_PSD_CG_1 ...
    L_PSD_CG_2 L_PSD_CG_3 ...
    L_PSD_HB_1 L_PSD_HB_2]
```

```
M=mean [H];
STD=std [H];
```

Ters logaritmik dönüşüm kullanılır.

```
NTL=10.^(M+STD*KK);
DFL=10.^(M+STD*KKD);
NPL=10.^(M+STD*(sqrt(1+1/N))*TT);
```

```
for i=1:3001;
    ENV(i)=max(Y(i,:));
end
ENV=ENV';
```

İGSY grafiklerinde dar bantlı tepeleri değerlendirmek için 2/1-6 oktav bandı kullanılır.

```
R=2^(1/6);
for i=2:40;
    F(1)=20;
    F(i)=F(i-1)*R;
end
F=[F 2000];
F=round(F);
FF=1:1:2000;
FF=FF(F);
```

```
FF=FF';
PSD_AK_x=PSD_AK_x(F+1);
PSD_AK_y=PSD_AK_y(F+1);
PSD_AK_z=PSD_AK_z(F+1);
PSD_CG_x=PSD_CG_x(F+1);
PSD_CG_y=PSD_CG_y(F+1);
PSD_CG_z=PSD_CG_z(F+1);
PSD_HB_y=PSD_HB_y(F+1);
PSD_HB_x=PSD_HB_x(F+1);
```

Tolerans limitleri için 2/1-6 oktav bantlı değerler türetilir.

```
NTL1=NTL(F+1);
NPL1=NPL(F+1);
DFL1=DFL(F+1);
ENV1=ENV(F+1);
```

```
saveas(gcf,'4_D312_NTL_COEF.emf')
saveas(gcf,'4_D312_NTL_COEF.fig')
```

```
X1=NTL1
oct=6;
```

125 Hz altında bulunan genlik değerleri bulunur.

```
PF1=findpeaks(X1(1:17))
```

125 Hz üstünde bulunan genlik değerleri bulunur.

```
PF2=findpeaks(X1(18:41))
```

İlgili limitte 8 adet tepe noktasını bulunur. Büyükten küçüğe verileri dizilir.

```
[pk1,lc1] =
findpeaks(X1,'SortStr','descend','NPeaks',9);
KK=sort(lc1)
```

Sırayla 8 yüksek tepenin frekansı bulunur.

```
P1peakFreqs = FF(KK)
```

Sırayla 8 yüksek tepenin genliği bulunur.

```
P1peakAmpls = X1(KK)
```

403 Hz'den büyük frekansların yerleri bulunur.

```
k = find(P1peakFreqs>403)
```

102 Hz'den küçük frekansların yerleri bulunur.

```
l = find(P1peakFreqs<102)
```

102-403 Hz arası frekansların yerleri bulunur.

```
m = find(P1peakFreqs>102&P1peakFreqs<403)
```

Orta bant frekansındaki yüksek genlikli verinin konumu bulunur. Bunun için orta bant frekansındaki veriler büyükten küçüğe sıralanır.

```
ZZ_A= sort(P1peakAmpls(m))
```

Orta bant frekans verilerinin en yüksek genliğe sahip olan hücre bulunur.

```
ZZ= max(ZZ_A)
```

Düşük bant frekansındaki yüksek genlikli verinin konumu bulunur. Bunun için düşük bant frekansındaki veriler büyükten küçüğe sıralanır.

```
W1_A= sort(P1peakAmpls(l))
```

Tepe noktaları alınırken 20 Hz verisini dâhil edilir.

```
W1_A= [W1_A; XXXXX1(1)]
```

Düşük frekans seçenekleri büyükten küçüğe sıralanır.

```
W1_A= sort(W1_A, 'descend')
```

Düşük frekans genliği değeri hesaplanır.

```
W1= max(W1_A)
```

Yüksek frekans verileri sıralanır.

```
W2_A= sort(P1peakAmpls(k))
```

Tepe noktaları alınırken 2000 Hz verisi dâhil edilir.

```
W2_A= [W2_A; XXXXX1(41)]
```

Yüksek frekans genliği hesaplanır.

```
W2= max(W2_A)
```

Yüksek frekans değerinin hesaplanması için yüksek frekans genliğinin konumu bulunur.

```
DSA= find(P1peakAmpls==W2)
```

Yüksek frekans değeri seçenekleri belirlenir.

```
f2_1=P1peakFreqs(DSA)
if (DSA>=length(pk1))
    f2_2=0
else
    ABC= find(P1peakFreqs>f2_1)
    W2_f2=P1peakAmpls(ABC)
    W2_f3=max(W2_f2)
    FFSC=find(P1peakAmpls==W2_f3)
    FFSD=P1peakFreqs(FFSC)
    f2_2=10^(log10(FFSD)-
((10/oct)*log10(W2/W2_f3)*log10(2)))
end
f2_3=10^(log10(2000)-
((10/oct)*log10(W2/XXXXX1(41))*log10(2)))
f2_4=10^(log10(FF(40))-
((10/oct)*log10(W2/XXXXX1(40))*log10(2)))
```

Yüksek frekans değeri hesaplanır.

```
f22=[f2_1 f2_2 f2_3 f2_4]
f2=max(f22)
```

Düşük frekans değeri hesaplaması yapılır. Bu değere karşılık gelen hücrenin konumu bulunur.

```
AJP= find(P1peakAmpls==W2)
AJR=P1peakFreqs(AJP)
F1_A1=AJR
```

Düşük frekans değeri bulunur.

```
AKP= find(P1peakAmpls==W1)
AKR=P1peakFreqs(AKP)
F0_A1=AKR
```

2000 Hz'deki genlik değeri 6 db/oktav eğimi ile yüksek frekans genliği ve frekansı kullanılarak hesaplanır.

$$W_{2000} = W_2 * 10^{(-oct/10 * \log_{10}(2000/f_2) / \log_{10}(2))}$$

İGSY noktalarını belirledikten sonra test spektrumu grafik olarak çizdirilir.

```
WW=[W1 W1 W2 W2 W2000];  
FFF=[20 F0_A1 F1_AA f2 2000];
```



EK 10

Hesaplamlarda kullanılan bilgisayar özellikleri aşağıda verilmiştir.

Çizelge Ek. 20 : Hesaplamlarda kullanılan bilgisayar özellikleri

Özellik	Değeri
İşlemci	Intel(R) Xeon(R) CPU E5-2643 v3 @ 3.40GHz
Hafıza	32.00 GB
Sistem Türü	64-bit İşletim Sistem

