

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇAMAŞIR MAKİNALARINDA SES KALİTESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Bahadır Emre ORHON

Anabilim Dalı : Makina Mühendisliği

Programı : Makina Dinamiği, Titreşim ve Akustik

HAZİRAN 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇAMAŞIR MAKİNELERİNDE SES KALİTESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Bahadır Emre ORHON
(503061407)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04 Mayıs 2009

Tezin Savunulduğu Tarih : 02 Haziran 2009

Tez Danışmanı : Prof. Dr. H. Temel BELEK (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Tuncer TOPRAK (İTÜ)
Prof. Dr. A. Rüstem ASLAN (İTÜ)

HAZİRAN 2009

ÖNSÖZ

Çalışmalarım sırasında tecrübelerinden yararlandığım tez danışmanım İ.T.Ü. Makina Fakültesi öğretim üyesi Prof. Dr. H. Temel BELEK'e teşekkürü borç bilirim. Tez çalışmamın gerçekleşmesinde verdikleri destekten dolayı Vestel A.Ş. Çamaşır Makinası İşletmesi Ar-Ge Departmanı müdürü Özgür YILMAZ ve Müh. Bora AKKIZ'a, İ.T.Ü. OTAM merkezi çalışanları ile İ.T.Ü. Makina Fakültesi Titreşim-Akustik laboratuvarı ve Mukavemet laboratuvarı çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez çalışmalarım süresince verdikleri destekten ötürü Pro-Plan Ltd. Şti. ailesine teşekkür ederim.

Mayıs 2009

Bahadır Emre Orhon

Makina Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	v
KISALTMALAR	xii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Literatür Özeti	1
1.3 Yöntem ve Aşamalar	3
2. SES KALİTESİ	5
2.1 Ses Kalitesi Nedir?	5
2.2 Ses Kalitesi Metrikleri.....	8
2.2.1 Eş-gürlük eğrileri	8
2.2.2 Dar bant gürültünün maskeleye özelliği	9
2.2.3 Farklı frekanslardaki dar bant seslerin maskeleye kalıpları.....	10
2.2.4 Metriklerin anlamı.....	11
2.2.4.1 Zwicker gürlüğü	12
2.2.4.2 Keskinlik	12
2.2.4.3 Dalgalanma şiddeti.....	14
2.2.4.4 Kabalık	14
2.2.4.5 Ton-gürültü oranı	14
2.2.4.6 Belirginlik oranı	15
2.3 Jüri Testi.....	15
2.3.1 Test metodu.....	15
3. TEORİK ESASLAR	17
3.1 Ana Bileşenlerin Analizi	17
3.2 Ana Bileşenlerin Analizi Teorisi.....	17
3.3 Doğrusal Regresyon Analizi	18
3.4 Ana Bileşenlerin Regresyonu.....	19
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	21
4.1 Kapsam.....	21
4.2 Amortisör Deneyi	21
4.2.1 Deneyin amacı.....	22
4.2.2 Deney metodu	22
4.2.3 Deney kapsamı	22
4.2.4 Deney kurulumu.....	23
4.2.5 Deney adımları	25
4.2.6 Deney sonuçları.....	26

4.3 Ses Kalitesi Nesnel ve Öznel Testleri	29
4.3.1 Ses kayıtlarının yapılması	29
4.3.2 Ses kayıtlarının sınıflandırılması	29
4.3.3 Metriklerin hesaplanması	30
4.3.4 Jüri testi	32
4.3.4.1 Jüri testinde kullanılan sesler	32
4.3.4.2 Jüri testinde kullanılan yazılım ve donanım	33
4.3.4.3 Zorlanmış seçim testi	34
4.3.4.4 Anlamsal fark testi	35
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	39
5.1 Nesnel Test Sonuçları - Metrikler	39
5.2 Öznel Test (Jüri Testi) Sonuçları	40
5.2.1 Zorlanmış seçim testi sonuçları	40
5.2.2 Anlamsal fark testi sonuçları	40
5.2.3 Zorlanmış seçim ve anlamsal fark test sonuçlarının kıyaslanması	45
5.3 ABA Yöntemi İle Analiz	45
5.4 Nesnel ve Öznel Verilerin İlişkilendirmesi	54
5.4.1 Doğrusal regresyon	54
5.4.2 Ana bileşenlerle regresyon	55
5.4.3 Modelin sınanması	56
5.5 Amortisör Etkisinin Değerlendirilmesi	57
5.6 Genel Değerlendirme ve Öneriler	59
KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	63

KISALTMALAR

ABA	: Ana Bileşenlerin Analizi (Principal Components Analysis)
HATS	: Kafa ve Göğüs Simülatörü (Head and Torso Simulator)
SQ	: Ses Kalitesi (Sound Quality)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Amortisör tipleri ve testte uygulanan genlik ve frekanslar.	23
Çizelge 4.2 : Su alma aşaması için hesaplanan ses kalitesi metrikleri.	31
Çizelge 4.3 : Yıkama aşaması için hesaplanan ses kalitesi metrikleri.....	31
Çizelge 4.4 : Sıkma aşaması için hesaplanan ses kalitesi metrikleri.	31
Çizelge 4.5 : Ses kodlarının ait oldukları makina modelleri.	32
Çizelge 5.1 : Metriklere ait katsayı matrisi U_m	46
Çizelge 5.2 : Jüri sıfatlarına ait katsayı matrisi U_j	46
Çizelge 5.3 : Metriklere ait z-skor matrisi Z_m	46
Çizelge 5.4 : Jüri sıfatlarına ait z-skor matrisi Z_j	47
Çizelge 5.5 : İki farklı amortisörle yapılan test sonucu elde edilen ses kalitesi metrikleri.....	58

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Ses kalitesi çevrimi.....	6
Şekil 2.1 : Eş-gürlük eğrileri.....	9
Şekil 2.2 : Değişik L_{CB} seviyelerinde, 160 Hz bant genişliğine sahip 1 kHz'deki bir dar bant gürültünün maskeleye modeli.	10
Şekil 2.3 : Değişik f_m merkezli frekanslardaki dar bant gürültülerin maskeleye özellikleri.....	11
Şekil 2.4 : Ses kalitesi metriklerinin şematik gösterimi.	12
Şekil 2.5 : 8.5 Bark'ta (1 kHz) dar bant gürültüsü, 0 - 24 Bark genişliğinde geniş bant gürültüsü ve 16 - 24 Bark genişliğinde yüksek geçiren filtreden geçmiş gürültü.....	13
Şekil 2.6 : Şekil 2.6'daki gürültü profillerinin keskinlik hesabına göre ağırlıklandırılmış özgül gürlükleri.	13
Şekil 4.1 : Çamaşır makinası içerisinde kazanın yay ve amortisörlerle bağlantı şekli.	21
Şekil 4.2 : Amortisör kuvvet-yerdeğişimi grafiği.....	22
Şekil 4.3 : Deney tezgahına bağlanmaya hazır bir numune.....	23
Şekil 4.4 : Amortisörün plastik pim vasıtasıyla çelik şase parçasına montajı.....	24
Şekil 4.5 : Deney numunesinin tezgaha montajı.	24
Şekil 4.6 : Bilgisayarda deney kontrol ekranı.....	25
Şekil 4.7 : Frekanslara göre amortisörlerin sönüm miktarları: (a) Strok ± 0.1 mm. (b) Strok ± 0.5 mm. (c) Strok ± 1.0 mm. (d) Strok ± 2.0 mm.....	26
Şekil 4.8 : Maksimum devirli sıkma aşamasında çamaşır makinası kazanı üzerinden alınan titreşim yer değişimi spektrum grafiği (amortisör: AB).....	27
Şekil 4.9 : Maksimum devirli sıkma aşamasında çamaşır makinası kazanı üzerinden alınan titreşim yer değişimi spektrum grafiği (amortisör: AK).	28
Şekil 4.10 : Ses kaydı kurulumu.	29
Şekil 4.11 : Kaydedilen ses dosyalarının ses kalitesi yazılımına aktarım penceresi. 30	
Şekil 4.12 : I sesinin oluşturulmasında C sesine uygulanan frekans bastırma fonksiyonu.....	33
Şekil 4.13 : Jüri testi icrasına bir örnek.	34
Şekil 4.14 : Zorlanmış seçim test föyü.	35
Şekil 4.15 : Su alma aşaması için anlamsal fark test föyü.....	36
Şekil 4.16 : Yıkama aşaması için anlamsal fark test föyü.	36
Şekil 4.17 : Sıkma aşaması için anlamsal fark test föyü.....	37
Şekil 5.1 : Ses kalitesi metrikleri korelasyon matrisi (Pearson, R^2).	39
Şekil 5.2 : Sıkma aşamasına ilişkin zorlanmış seçim testi tercih miktarı sonuçlarını gösterir grafik.	40
Şekil 5.3 : Sıkma aşamasına ait anlamsal fark testi sonuçlarına ilişkin sıfat korelasyon matrisi.	41
Şekil 5.4 : Su alma aşamasına ait anlamsal fark testi sonuçlarına ilişkin sıfat korelasyon matrisi.	41

Şekil 5.5 : Yıkama aşamasına ait anlamsal fark testi sonuçlarına ilişkin sıfat korelasyon matrisi.	42
Şekil 5.6 : Sıkma aşamasına ilişkin anlamsal fark testi tercih miktarını gösterir grafik.	43
Şekil 5.7 : Yıkama aşamasına ilişkin anlamsal fark testi tercih miktarını gösterir grafik.	44
Şekil 5.8 : Su alma aşamasına ilişkin anlamsal fark testi tercih miktarını gösterir grafik.	44
Şekil 5.9 : Sıkma aşamasına ilişkin zorlanmış seçim ve anlamsal fark testleri tercih miktarı sonuçlarının karşılaştırmalı grafiği ($R^2 = 0.93$).	45
Şekil 5.10 : Sıkma aşamasına ilişkin jüri testine ait ilk iki ana bileşenin biplot diyagramı.	48
Şekil 5.11 : Sıkma aşamasına ilişkin jüri testine ait ilk üç ana bileşenin biplot diyagramı.	49
Şekil 5.12 : Sıkma aşamasına ilişkin metriklere ait birinci ve üçüncü ana bileşenin biplot diyagramı.	50
Şekil 5.13 : Su alma aşamasına ilişkin jüri testine ait ilk iki ana bileşenin biplot diyagramı.	51
Şekil 5.14 : Su alma aşamasına ilişkin metriklere ait ilk iki ana bileşenin biplot diyagramı.	52
Şekil 5.15 : Yıkama aşamasına ilişkin jüri testine ait ilk iki ana bileşenin biplot diyagramı.	53
Şekil 5.16 : Yıkama aşamasına ilişkin metriklere ait ilk iki ana bileşenin biplot diyagramı.	53
Şekil 5.17 : Zorlanmış seçim testinden elde edilen tercih miktarının, regresyon ile tahmin edilen tercih miktarına göre gösterimi ($R^2=0.9263$).	54
Şekil 5.18 : Orijinal jüri sıfatları ($R^2=0.6935$).	55
Şekil 5.19 : Zorlanmış seçim testinden elde edilen tercih miktarının (yatay eksen), 8 örnekle elde edilen model yardımı ile tahmin edilen tercih miktarına (düşey eksen) göre gösterimi ($R^2=0.9097$).	57
Şekil 5.20 : Yeni iki ses ilave edilerek regresyon	58

ÇAMAŞIR MAKİNALARINDA SES KALİTESİ

ÖZET

Ses kalitesi, özellikle beyaz eşya sektöründe, pazar önceliği açısından önemli bir belirleyici nitelik halini almıştır. Bu çalışmanın amacı, farklı model çamaşır makinalarının ses kalitelerini karşılaştırmalı olarak belirlemek, ses kalitesi ile ilgili nesnel ve öznel parametrelerin ilişkilerini ortaya koyarak bu yönde bir matematik model oluşturmak, tasarım parametreleri ile ses kalitesi arasındaki ilişkiyi ortaya koymaktır. Bu amaçla farklı model sekiz adet çamaşır makinası seçilmiş ve ses kalitesi yazılımı yardımıyla bunların psiko-akustik metrikleri belirlenmiştir. Elde edilen bu veriler “ana bileşenlerin analizi” yoluyla ana bileşenlerine ayrılmış, bu sayede sesi nesnel olarak azami düzeyde temsil edebilecek en az sayıda parametre belirlenmiştir. Ayrıca bu makinaların ses kaliteleri, oniki kişilik bir jüri tarafından zorlanmış seçim ve anlamsal fark yöntemleriyle öznel olarak değerlendirilmiştir. Ardından psiko-akustik nesnel metriklerle, jüri testinden elde edilen öznel veriler doğrusal regresyon yardımıyla ilişkilendirilerek bir matematik model kurulmuştur. Makinanın su alma, yıkama ve sıkma aşamalarında sesin hangi özelliklerinin insan algısı açısından beğenilir nitelikte olduğu grafik yöntemlerle irdelenmiştir. Çamaşır makinasının dinamik davranışını önemli ölçüde etkileyen sönüm faktörü ile ilişkili makina parçası olan kazan amortisörü seçiminin ses kalitesine etkilerini araştırmak amacıyla, aynı tip çamaşır makinasına farklı tip amortisörler bağlanarak sıkma aşamasında ses kayıtları alınmış, bu yeni ses örnekleri önceden elde etmiş olduğumuz modele konarak ses kalitesine ait nesnel ve öznel parametrelerin ne şekilde etkilendiği incelenmiştir.

SOUND QUALITY IN WASHING MACHINES

SUMMARY

Sound quality has become an important factor in gaining market advantage especially in household appliances. The aim of this study is to determine the sound quality of different washing machines and to obtain a mathematical model by putting forward the relation between the objective and subjective aspects of sound quality and its relation to the design parameters. Eight different model washing machines are selected and psycho-acoustic metrics are determined by the help of the sound quality software. This data is then processed by principal components analysis and reduced to fewer number of variables which still can describe the properties of the sound. Meanwhile, a jury test is conducted with twelve jurors to determine the subjective ratings of the sounds. Then the objective metrics are correlated with the subjective jury tests by linear regression technique to obtain a mathematical model. Graphical methods are used to demonstrate which properties of the sounds that belong to working stages such as “water filling”, “washing” and “spin extraction” are preferred by the human perception. Finally, the effects of the damping factor on the sound quality is investigated by applying dampers that have different damping characteristics on same type of washing machine, and the recorded sound samples are processed by our mathematical model to obtain the influence of the subjective and objective parameters of sound.

1. GİRİŞ

Günlük hayatımızda önemli bir yer teşkil eden elektrikli ev aletleri, fonksiyonları ile örtüşecek nitelikte, kabul edilebilir bir sese sahip olmalıdırlar. Evlerde yaygın olarak kullanılan çamaşır makinaları, özellikle sıkma aşamasında rahatsız edici gürültü yayan ev aleti olma özelliğini taşımaktadırlar. Bir ürünün çalışırken ses yayması kaçınılmazdır. Ses kalitesi çalışması yardımıyla ürünün sesi kulağa hoş gelecek ve çalışma koşulları hakkında kullanıcıya sağlıklı bilgi verecek bir hâle getirilebilir.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı, pilot üreticinin çamaşır makinası ürününde, benzer ürünlerle karşılaştırmalı bir ses kalitesi çalışması yapılması ile elde edilen veriler ışığında çamaşır makinalarında ses kalitesi ile ilgili insan algısı (öznel parametreler) ile sesin hesaplanabilir özelliklerini (nesnel parametreleri) ilişkilendirebilecek bir matematik modelin kurulmasıdır. Bu model sayesinde, zaman alıcı jüri testleri yapmaksızın, sadece nesnel parametrelerin analiziyle ürün sesinin insanlar tarafından ne şekilde algılanacağını öngörmek mümkün olacaktır. Bunun yanısıra ürün tasarım parametrelerinin nesnel ve öznel parametreleri ne şekilde etkilediğinin ortaya konması amaçlanmaktadır.

1.2 Literatür Özeti

Blauert and Jekosch ses kalitesini "Bir ürüne ait sesin uygunluğu hakkında bir belirleyici" olarak tanımlamaktadırlar [1]. Ses kalitesinin belirlenmesi hem nesnel hem de öznel ölçümleri gerektirmektedir. Ses algısının matematik modeli olarak tanımlanan ve çoğu Zwicker [2] tarafından geliştirilen ses kalitesi *metrikleri* günümüzde ses kalitesini belirlemek için kullanılmaktadırlar. Bu metriklerle ilgili araştırma ve geliştirme çalışmaları halen devam etmektedir.

Araştırmacılar, belirli bir ürüne veya belirli bir tür sese ait *ses kalitesinin* ortaya konması için en uygun yolların ne olduğu konusunu ele alırken, yeni çalışmalar çerçevesinde en popüler yaklaşım olarak, ürüne ait ses kalitesini bir “rahatsız edicilik” parametresi ve özgül bir indeksle tanımlamaktadırlar [3]. Bu indeksler insanın ürün gürültüsünden duyduğu rahatsızlık düzeyini tahmin etmek için kullanılmaktadır ve belirli ürün ve durumlar için çeşitli indeksler tanımlıdır. Bu indekslere örnek olarak şunlar gösterilebilir; Beidl and Stucklschwaiger tarafından sunulan motor gürültüsü kalitesi için “AVL rahatsız edicilik indeksi” [4] ve May, Davies and Bolton tarafından geliştirilen “buzdolabı gürültüsü rahatsız edicilik modeli” [5]. May, Davies ve Bolton, bu çalışmalarında insanın öznel tepkisiyle nesnel ses kalitesi metriklerini ilişkilendirerek, buzdolabı gürültüsünün rahatsız edicilik seviyesiyle ses kalitesi metrikleri arasında doğrusal bir ilişki olduğunu göstermiştir. Sobhi, çamaşır makinası motorları ve saç kurutma makinaları üzerinde yaptığı ses kalitesi çalışmalarında jüri testlerinden elde edilen öznel verilerle, ses kalitesi yazılımından elde edilen nesnel verileri doğrusal regresyon ile ilişkilendirmiş, ve elde ettiği tahmin modelinin sınanmasını gerçekleştirmiştir [6]. Altınsoy, Kanca ve Belek, kuru ve ıslak tip elektrikli süpürgeler üzerinde yaptıkları çalışmada, ses kalitesi metrikleri ile jüri testi sonuçlarını doğrusal regresyonla ilişkilendirerek bir “rahatsız edicilik indeksi” geliştirmişlerdir [7]. Lyon, sesi tanımlayan sıfatları kullanarak uzman jüriden elde ettiği algı profillerini metriklerle ilişkilendirmiş, ana bileşenlerin analizi yöntemiyle elde ettiği bilgileri tüketici jürisi sonuçları ile bağdaştırarak ses kalitesi matematik modelini kurmuştur [8]. Türkdođru ve Belek, saç kurutma makinalarına ilişkin ses kalitesi çalışmalarında, ana bileşenlerin analizi ve yapay sinir ağları yöntemlerini ses kalitesinin nesnel ve öznel verilerinin değerlendirilmesinde kullanarak, sonuçları karşılaştırmalı olarak irdelemişlerdir [9, 10]. Bowen, saha bakım ekipmanlarına ilişkin gerçekleştirdiği ses kalitesi çalışmasında ses kalitesi metriklerinden ana bileşenler analizi yardımıyla oluşturduğu metrik profilini, doğrusal regresyon vasıtasıyla öznel testlerle ilişkilendirmiştir ve ileriki çalışmalarda nesnel ve öznel verileri ilişkilendirmede kullanılmak üzere *kısmi en küçük kareler regresyonu* yönteminin daha sağlıklı sonuçlar vereceği yolunda bir öneride bulunmuştur [11].

1.3 Yöntem ve Aşamalar

Gürültü titreşim kaynaklı bir olgudur. Dolayısıyla makinanın gürültü karakteristiği titreşimi ile doğrudan ilişkilidir. Zorlanmış titreşimlerin bulunduğu bir dinamik sistem olan çamaşır makinasının titreşim karakteristiğinin belirleyici özellikleri tahrik kuvvetleri, rijitlik ve sönümdür. Bu üç parametre ile ilişkili makina bileşenlerindeki tasarım değişiklikleri, makinanın gürültü karakteristiğini doğrudan etkileyecektir.

Sönüm faktörünü çamaşır makinasında temsil eden en belirleyici makina parçası ise kazan amortisörüdür. Bu çalışma kapsamında, çamaşır makinasındaki bir tasarım parametresi olan bu amortisörün sönüm özelliklerindeki değişimin ses kalitesi nesnel ve öznel parametreleri üzerindeki etkisi araştırılacaktır.

Çalışma beş aşamadan oluşmaktadır; ilk aşamada farklı model çamaşır makinalarının ses kayıtları alınmış, ikinci aşamada ses kalitesine ilişkin nesnel parametreler hesaplanmış, üçüncü aşamada öznel jüri testleri icra edilmiş, dördüncü aşamada nesnel ve öznel verilerin ilişkilendirilmesi yapılmış, son aşamada ise ses kalitesini etkilediği öngörülen tasarım parametresi olan sönüm miktarının nesnel ve öznel bulgularla ilişkisi ortaya konmuştur. Bu süreçte bazı yardımcı deneysel ve teorik yöntemler izlenmiştir: Amortisörlerin sönüm miktarı deneysel olarak ölçülmüş, nesnel ve öznel ses kalitesi parametrelerinin ilişkilendirilmesinde ise Ana Bileşenlerin Analizi (ABA) yönteminden faydalanılmıştır.

2. SES KALİTESİ

2.1 Ses Kalitesi Nedir?

Ses Kalitesi, dinleyicinin sesi nasıl algıladığı ile ilgili psikoakustik incelemeleri kapsamaktadır. Hem öznel (dinleyicinin sese tepkisi), hem de nesnel (sesin hesaplanabilen özellikleri) ölçüleri hesaba katmaktadır.

Ses kalitesi çalışmasının amacı *tasarım parametreleri* ile *algılanan ses* arasındaki ilişkiyi temsil edebilecek metriklerin hesaplanması, hangi tasarım parametrelerinin hangi metrikleri etkilediğinin ortaya konması ve elde edilen sonuçlar ışığında tasarımda değişiklikler yaparak, tüketicinin beğenileri doğrultusundaki “kaliteli sesli makinanın” elde edilebilmesini sağlamaktır.

Uluslararası standartlarda ürünlerin akustik olarak değerlendirilmesi sadece ses gücü parametresinin belirlenmesiyle gerçekleştirilmektedir. Ancak ürün gürültüsünü karakterize etmek için kullanılan A-ağırlıklı gürültü seviyeleri, ses kalitesi özelliklerini belirtmekte işe yaramazlar. Aynı kategoride farklı marka ürünlerin ses gücü düzeyleri aynı olsa dahi, bu ürünlerin insan kulağı tarafından algılanan rahatsız edicilik seviyeleri birbirlerinden oldukça farklı olabilir. Bunun nedeni sesin frekans bileşenlerinin farklı olması dolayısıyla bazı ürünlerin sesinin kulağa hoş gelmesi, bazı ürünlerde ise bunun tersi olmasıdır.

İyi ses kalitesi ürünün sorunsuz olarak çalıştığına işarettir. Bir ürünün sesi, o ürünün yerine getirdiği fonksiyonla örtüşmeli ve insana ürünün çalışma durumu ile ilgili bilgi vermelidir. Üründen beklenen sesin haricinde bir sesin yayılması halinde kullanıcı bu üründe bir sorun olduğunu ve bu beklenmeyen ses ürünün çalışmasını hiçbir şekilde etkilemiyor olsa dahi, tüketici ürünün arızalı olduğunu ve ürün ömrünün olumsuz yönde etkileneceğini düşünmektedir. Bu olguya paralel olarak, tamamen sessiz bir ürünün ses kalitesinin en yüksek düzeyde olduğunu söylememiz doğru değildir, çünkü ürün, çıkardığı ses vasıtasıyla insanı çalışma durumu hakkında

başarısız olursa ses kalitesi yazılımında ürünün ses kayıtları incelenir. Rahatsız edici sesin nedeni olabilecek frekans bileşenleri bu yolla tesbit edilebilir. Ses kalitesi yazılımının *ses işleme* fonksiyonuyla istenmeyen bileşenlerin ortadan kaldırılması simüle edilebilir. Eğer işlenmiş olan bu ses, dinleme testlerinden başarıyla çıkıyorsa, yazılımda simülasyonla elde edilen sesin prototipte yapılacak hangi modifikasyonla gerçek hayata geçirilebileceği araştırılır. Burada ürün mühendisleri devreye girer. Bundan sonra yeni ses kaydı ve dinleme testi gereklidir. Eğer prototip bu testten de geçemezse tekrar ses kalitesi yazılımına dönülür.

Jüri testleri zaman alıcı olduğu gibi maliyetleri de yüksektir. Eğer ürüne ait ses kalitesi ölçülebilen bazı nesnel büyüklüklerle ifade edilebilirse jüri testlerine gerek kalmayacaktır. Ancak insan algısı oldukça karmaşık olduğu için bu sanıldığı kadar kolay bir iş değildir. Sesin özelliklerini belirtmeye yarayan bir takım nesnel *metrikler* mevcuttur. Bu metrikler sesin belirli bir özelliğini tek bir skaler büyüklük olarak ifade ederler. Bunlara örnek olarak; Zwicker gürlüğü, keskinlik, dalgalanma şiddeti, kabalık, ton-gürültü oranı ve belirginlik oranı verilebilir. Eğer belirli metriklerin değişiminin ses kalitesi üzerindeki etkileri belirlenebilirse, simülasyonları optimize etmek için bu metriklerin kullanılmasıyla jüri testleri azaltılabilir, bu sayede zaman tasarrufu sağlanabilir. Unutulmamalıdır ki, ses kalitesi hakkında son yargıyı verecek olan insandır. Ürün, öznel jüri testlerini başarıyla geçmelidir.

Önemli olan nokta, öznel testlerle güvenilir bir korelasyona sahip olabilecek şekilde, herbiri belirli ağırlığa sahip olan değişik metriklerin kombinasyonundan oluşan bir model kurabilmektir. Birçok üretici bu sorun üzerinde çalışmakta ve bulgularını firma sırrı olarak saklayıp nadiren yayınlamaktadırlar. Diğer yandan bu çalışmaların sonuçları belirli bir ürüne özel olup, genellikle diğer üreticilerin kullanımına elverişli olmamaktadırlar.

2.2 Ses Kalitesi Metrikleri

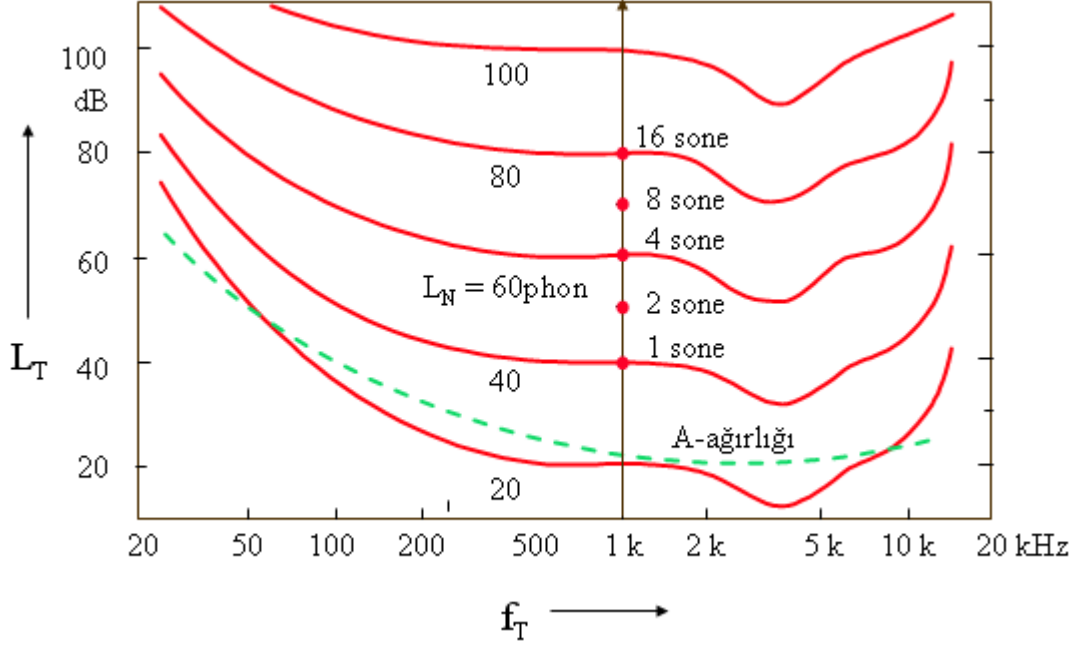
Ses kalitesi metrikleri, ses örneği üzerinden belli algoritmalar kullanılarak hesap yoluyla elde edilen ve sesin belli bir özelliğini skaler olarak ifade eden parametrelerdir. Ses kalitesini nesnel olarak belirlemede kullanılan metriklerin en yaygın kullanılanları aşağıdaki gibidir:

- Zwicker gürlüğü (Zwicker loudness)
- Keskinlik (Sharpness)
- Dalgalanma şiddeti (Fluctuation strength)
- Kabalık (Roughness)
- Ton-gürültü oranı (Tone-to-noise ratio)
- Belirginlik oranı (Prominence ratio)

Bu metriklerden sadece kararlı (stasyonel) sinyaller için *Zwicker gürlüğü* standardize edilmiştir. Gerçek hayattaki seslerin çoğu kararlı olmayan sinyallerdir. Kabalık, dalgalanma şiddeti ve keskinlik için farklı yaklaşımlarla elde edilmiş hesaplama yöntemleri mevcuttur. Dolayısıyla farklı firmaların ses kalitesi analiz yazılımları tarafından hesaplanan metriklerde farklılıklar olabilmektedir. Standardizasyon çalışmaları ANSI ve DIN tarafından sürdürülmektedir.

2.2.1 Eş-gürlük eğrileri

Ses kalitesinin değerlendirilmesinde gürlük algısının önemli bir yeri bulunmaktadır. Şekil 2.1’de görülen sürekli çizgili eğrilere “eş gürlük eğrileri” denmektedir.



Şekil 2.1 : Eş-gürlük eğrileri.

Bu eğriler, insan duyma sisteminin daha ziyade 4 kHz'teki seslere karşı hassas olduğunu, bundan düşük ve yüksek olan frekanslarda hassasiyetin nisbeten düştüğünü göstermektedir. Düşük frekanslarda eş gürlük eğrileri birbirine paralel gitmemekte, gürültü seviyesine bağlı bir ilişki sergilemektedir.

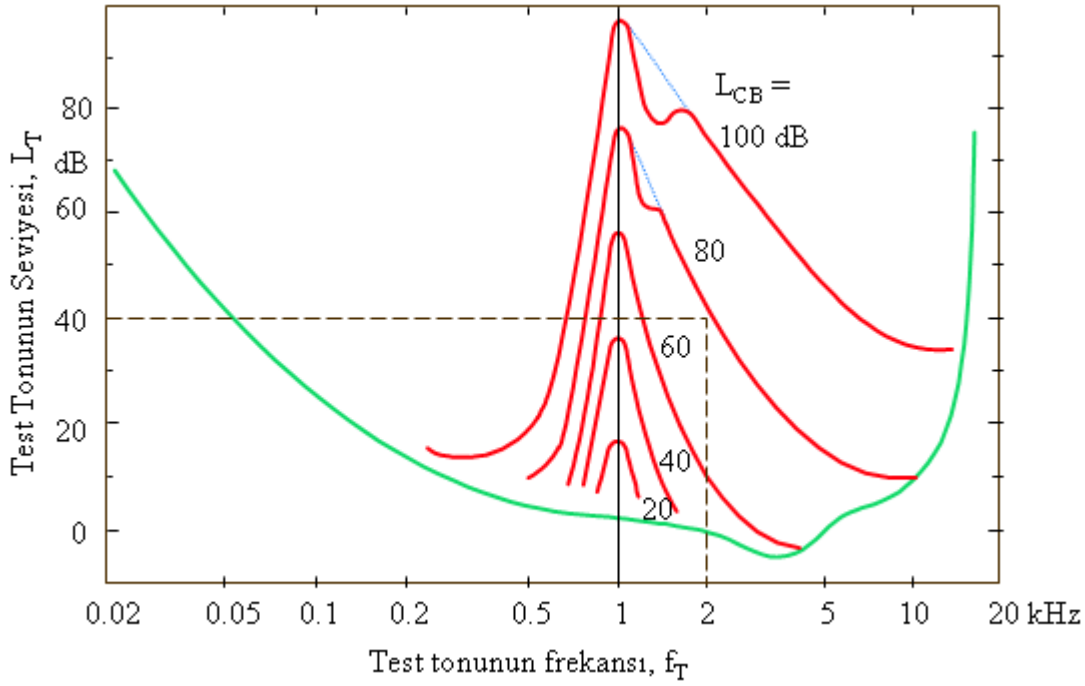
Eğriler phon olarak adlandırılmıştır. Örneğin 60 phon eğrisi farklı frekanslarda aynı miktarda gürlük hissi verecek dB seviyelerini göstermektedir. 1 kHz'te dB ve phon aynı değeri almaktadırlar.

Gürlüğün başka bir ölçü birimi ise sone'dur. 40 phon değerindeki 1 kHz'lik sinyal 1 sone olarak belirlenmiştir. Sone değerindeki katlanma, sesin algılanan gürlüğündeki katlanmaya eşittir. 10 phon aralıklarla sone değeri, yani algılanan gürlük, ikiye katlanmaktadır.

Grafikteki kesikli çizgi A-ağırlığı eğrisidir. Düşük seviyeli gürültülerde 20 phon eğrisiyle benzer profile sahip olmakla beraber, daha yüksek seviyelerde, ör. 80 phon'da, düşük frekans bileşenleriyle uyumlu bir profile sahip değildir.

2.2.2 Dar bant gürültünün maskeleye özelliği

160 Hz bant genişlikli, 1 kHz merkez frekanslı bir dar bant gürültünün (L_{CB}) maskeleye eğrileri Şekil 2.2'de görülmektedir.



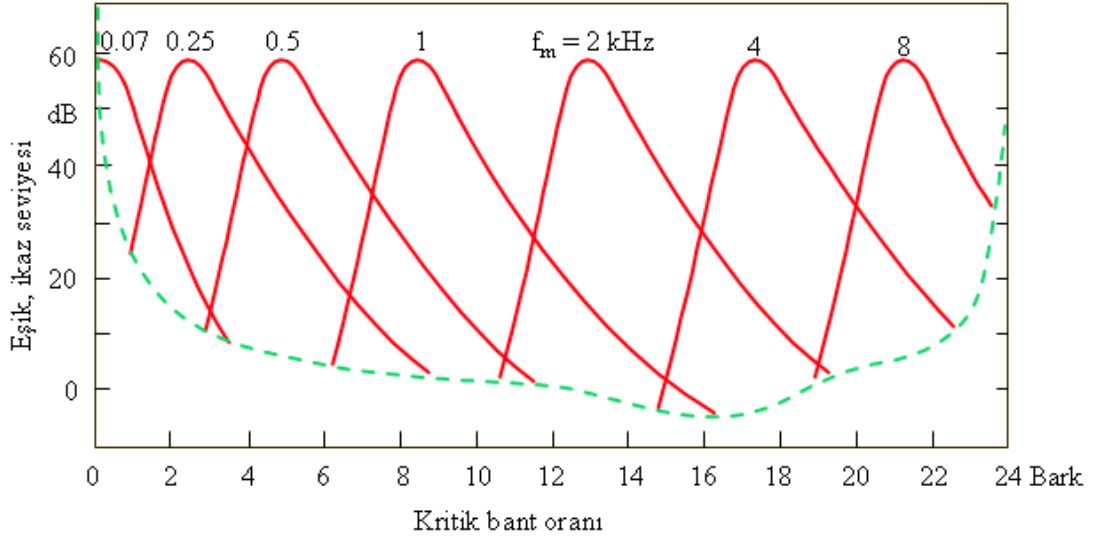
Şekil 2.2 : Değişik L_{CB} seviyelerinde, 160 Hz bant genişliğine sahip 1 kHz'deki bir dar bant gürültünün maskeleme modeli.

En alttaki eğri duyma alt eşiğini göstermektedir. Diğer eğriler, farklı genliklerdeki gürültülerin maskeleme paternlerini ifade etmektedir. Örneğin 2 kHz frekanslı 40 dB ve altındaki bir test tonu, 80 dB'lik L_{CB} gürültüsü altında maskelenecektir.

Dar bant maskeleme gürültüsünün düşük seviyelerinde maskeleme paterni şekilleri simetrik özellik sergilemekte, 40 dB üzerine çıktıkça eğrinin düşük frekanslı kısmı paralel kalmakta fakat yüksek frekanslı kısmı gittikçe yataylaşmaktadır. Bu etkiye “maskelemenin non-linear yukarı yayılımı” denmektedir.

2.2.3 Farklı frekanslardaki dar bant seslerin maskeleme kalıpları

Şekil 2.3'te Bark ölçeğinin avantajları görülmektedir.



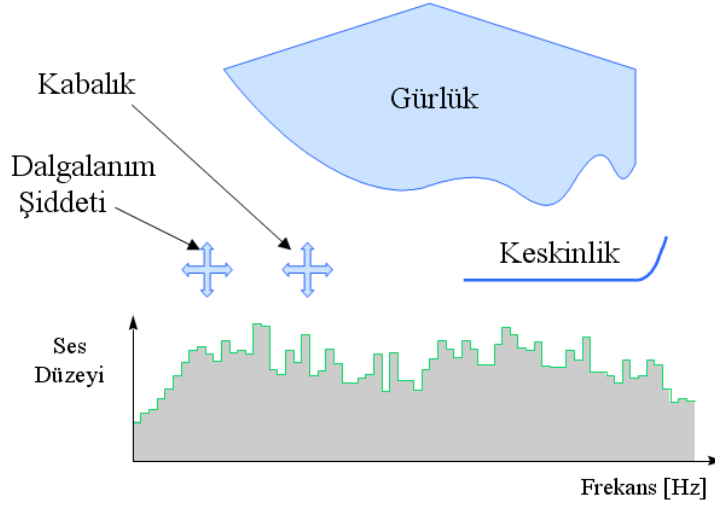
Şekil 2.3 : Değişik f_m merkezli frekanslardaki dar bant gürültülerin maskeleme özellikleri.

Farklı frekanslarda merkezli, 1 Bark genişliğindeki dar bant maskeleme gürültülerinin maskeleme paternleri sürekli çizgilerle gösterilmiştir. En alttaki eğri duyma alt eşiğidir.

Bark ölçeğinde gösterildiklerinde hepsinin şekli frekanstan bağımsız olarak aynıdır ve insan duyma sisteminin filtre karakteristikleri olarak yorumlanabilirler.

2.2.4 Metriklerin anlamı

Bölüm 2.2’de listelenen metriklerin fiziksel anlamları bu kısımda kısaca açıklanmıştır. Şekil 2.4’te ses kalitesi metriklerinden en çok kullanılanlar olan gürlük, kabalık, keskinlik ve dalgalanım şiddeti ile ilgili şematik gösterim mevcuttur. Bu şekilden anlaşılacağı üzere gürlük sesin A ağırlıklı düzeyi ile doğru orantılı, keskinlik sesin yüksek frekans bileşeniyle ilişkili, kabalık ve dalgalanım şiddeti metrikleri ise sesin belli frekans bölgelerindeki modülasyonlarıyla alakalı parametrelerdir.



Şekil 2.4 : Ses kalitesi metriklerinin şematik gösterimi.

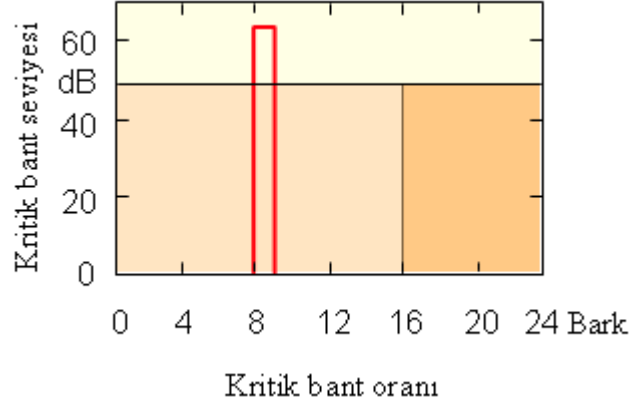
2.2.4.1 Zwicker gürlüğü

Phon veya sone cinsinden ölçülür. Sesin A-ağırlıklı SPL seviyesi ile doğru orantılı bir parametredir. Zwicker tarafından tanımlanan gürlük, kararlı ve kararlı olmayan sinyallerdeki gürlük olarak iki şekilde ifade edilmiştir. Sadece kararlı sinyallerdeki gürlük standardize edilmiş bulunmaktadır. Kararlı olmayan sinyallerdeki gürlük ölçümünün standardizasyonuna ilişkin Round Robin testi çalışmaları halen sürmektedir (DIN-NALS A1 AK1). Keskinlik, dalgalanma şiddeti ve kabalık gibi Zwicker metriklerinin hesabında kararlı olmayan gürlük parametresinin temel teşkil etmesi, bu standardizasyonun önemini arttırmaktadır.

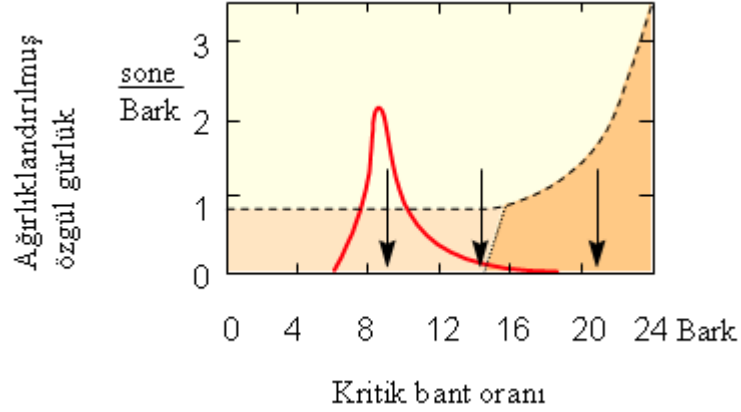
2.2.4.2 Keskinlik

Sinyalin frekans spektrumundaki yüksek frekans bileşeninin miktarının ölçüsüdür. Kararlı ve kararlı olmayan gürülüğe, yüksek frekanslarda artış eğilimi gösteren bir spektral ağırlıklandırma eklenerek hesaplanabilir.

Şekil 2.6'da bir gürültü profili verilmiştir. 8.5 Bark'ta (1 kHz) dar bant gürültüsü, 0 - 24 Bark genişliğinde geniş bant gürültüsü ve 16 - 24 Bark genişliğinde yüksek geçirgen filtreden geçmiş gürültüleri içermektedir.



Şekil 2.5 : 8.5 Bark'ta (1 kHz) dar bant, 0 - 24 Bark genişliğinde geniş bant gürültüsü ve 16 - 24 Bark genişliğinde yüksek geçiren filtreden geçmiş gürültü.



Şekil 2.6 : Şekil 2.6'daki gürültü profillerinin keskinlik hesabına göre ağırlıklandırılmış özgül gürülükleri.

Şekil 2.7'de ise, bir önceki şekilde bulunan üç gürültü profillerinin keskinlik hesabında kullanılan yüksek frekans güçlendirmesiyle spektral olarak ağırlıklandırılmış özgül gürülük grafiği görülmektedir. Düşey doğrultulu oklar ağırlıklandırılmış sinyallerin ağırlık merkezini göstermektedir. Oklar Bark skalasında ne kadar yüksek değerli olursa, keskinlik değeri o kadar yüksek olacaktır.

Zwicker keskinliği, *acum* birimiyle, aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmaktadır:

$$S = 0.11 \cdot \frac{\int_1^{24} N'(z) \cdot g(z) \cdot z \cdot dz}{\int_1^{24} N'(z) \cdot dz} \text{ acum} \quad (2.1)$$

$$\dots g(z) = \begin{cases} 1 & \text{for } z \leq 16 \\ 0.066 \cdot e^{0.171 \cdot z} & \text{for } z > 16 \end{cases}$$

1 kHz merkez frekansında 1 Bark bant genişliğindeki 60 dB SPL genlikli bir gürültünün keskinlik değeri 1 acum olmaktadır.

2.2.4.3 Dalgalanma şiddeti

Kararlı olmayan gürlük baz alınarak hesaplanır ve sesin 4 Hz civarı düşük frekanslardaki genlik ve frekans modülasyonlarının ölçüsüdür. Fastl ve Zwicker tarafından önerilen özgül dalgalanma şiddeti hesabı aşağıdaki gibidir [2] :

$$F'(z) = \frac{0.032 \cdot \Delta L(z) \cdot \Delta z}{f_{\text{mod}}(z) / 4 + 4 / f_{\text{mod}}(z)} \text{ vacil} \dots \Delta L = 20 \log(N'(1) / N'(99)) \quad (2.2)$$

1 kHz frekanslı, 60 dB SPL genlikli, 4 Hz'te %100 genlik modülasyonlu bir sinyalin özgül dalgalanma şiddeti 1 vacil şeklindedir.

2.2.4.4 Kabalık

Dalgalanma şiddeti ile benzer nitelikte olup, ondan farkı 70 Hz civarındaki frekans ve genlik modülasyonları ile ilgilenmesidir.

$$R'(z) = 0.0003 \cdot f_{\text{mod}}(z) \cdot \Delta L_E(z) \cdot \Delta z \text{ asper} \quad (2.3)$$

$$\dots \Delta L_E = 20 \log(N'(1) / N'(99))$$

1 kHz frekanslı, 60 dB SPL genlikli, 70 Hz'te %100 genlik modülasyonlu bir sinyalin özgül kabalığı 1 asper şeklindedir.

2.2.4.5 Ton-gürültü oranı

Ses içerisindeki saf tonların baskın nitelikte olup olmadığının ölçüsüdür.

2.2.4.6 Belirginlik oranı

Kritik bir banttaki gürültü miktarının, komşu bantların içerdiği gürültü miktarı ile ilişkisini göze alır. Gürültüdeki tonal bileşenlerin ön plana çıkıp çıkmadığının göstergesidir.

2.3 Jüri Testi

Jüri testi, ürün gürültüsünün öznel değerlendirilmesi için kullanılan yöntemdir. Ses kalitesi çalışmasında en önemli olgunun insan algısı olması dolayısıyla bu testlere ihtiyaç duyulmaktadır.

2.3.1 Test metodu

Ürün gürültüsüne ait kaydedilmiş çift kulaklı kayıtlar, frekans cevabı mümkün mertebe doğrusal nitelikteki kulaklıklarla jüriye belirli bir sıra ile dinletilir ve jürinin seslerle ilgili belirlenmiş olan sorulara yanıt vermesi beklenir.

Jüri testlerinde yaygın olarak kullanılan iki yöntem vardır: “anlamsal fark (semantic differential)” ve “zorlanmış seçim (paired comparison)”. Anlamsal fark testinde jürinin sırayla, belirli bir ölçekte, sesin belirli bir özelliğine dair not vermesi beklenir. Bu ölçek örneğin 1’den 7’ye kadar sayılardan oluşuyor olabilir. Ölçeğin bir tarafında sesin belirli bir özelliğini ifade eden bir terim (ör. keskin), diğer tarafında ise bunun tersini ifade edecek bir terim (ör. yumuşak) yer alır.

Zorlanmış seçim yönteminde ise ürünlere ait sesler ikili olarak eşlenerek jüriye dinletilir ve jürinin seslerden beğenisine uygun olanını tercih etmesi beklenir.

Jürideki insan profili seçimi de önem arzeder. Seçilecek kişilerin test edilen ürünün kullanıcı profilini temsil edebilecek nitelikte olması gereklidir. Bunun için pazarlama personelinin bilgisine ihtiyaç vardır. Örneğin çamaşır makinası kullanıcılarının %10’unun 25-35 yaş arası bekar erkekler olduğu bilinmekteyse, jürinin de aynı oranının bu özelliği taşıması gerekir.

3. TEORİK ESASLAR

3.1 Ana Bileşenlerin Analizi

Bölüm 2.4'te görüldüğü gibi ses kalitesini belirleyen birçok metrik mevcuttur. Belirli sesler için bu metriklerin bazıları birbirleri cinsinden ifade edilebilmektedir. Ayrıca bazı metrikler ses kalitesini daha belirgin biçimde ifade edebilirken, bazıları ses kalitesi açısından belirleyici niteliğe sahip değildir. Ana bileşenlerin analizi - ABA (Principal components analysis - PCA) yöntemi, değişken kümesini çok daha az sayıya indirgeyerek sistemi basitleştirmekte ve bu yeni değişkenler, sistemi hâlâ anlamlı bir oranda temsil edebilmektedirler. Bu yöntemin çalışmamızda kullanılma amacı, çamaşır makinalarına ait ses kalitesini belirleyen metriklerin sayısını en az veri kaybıyla azaltarak modelimizi basitleştirmektir [13,14].

3.2 Ana Bileşenlerin Analizi Teorisi

ABA, sistem değişkenlerinin kovaryans veya korelasyon matrislerinin özvektör ayrıştırmasına dayanmaktadır. Ana bileşenler yapay değişkenlerdir, birim varyanslı (standard sapması bire eşit olan) örnekler veri analizini kolaylaştırmakta ve basitleştirme sağlamaktadır. “n” satırlı ve “m” sütunlu olan, satırların örnekleri, sütunların ise değişkenleri temsil ettiği \mathbf{X} matrisinin kovaryans matrisi aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

$$\mathbf{S} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X}) / n - 1 \quad (3.1)$$

\mathbf{X} birim varyanslı veri matrisi, \mathbf{S} ise \mathbf{X} 'in korelasyon matrisidir. Burada \mathbf{X} matrisinin herbir satırı kendi aritmetik ortalamasına göre merkezlenmiş, yani satırın herbir elemanından kolonun ortalaması çıkartılmıştır, ayrıca \mathbf{X} 'in herbir kolonu kendi standard sapmasıyla bölünerek birim varyanslı olacak hale getirilmiştir.

\mathbf{U}_i vektörleri kovaryans matrisinin özvektörleri, λ_i ise bunlara karşılık gelen özdeğerleri olmak üzere;

$$S\mathbf{U}_i = \lambda_i \mathbf{U}_i \quad , i=1,2,\dots,p \quad (3.2)$$

\mathbf{U}_i özvektörlerinden oluşan yeni değişkenlere ana bileşenler denir. Her bir ana bileşen, orijinal değişkenlerin doğrusal kombinasyonu olup, bu değişkenlerin birbiriyle ne şekilde bağlantılı olduğunu gösterir. Ana bileşen kümeleri ortogonal bir veri uzayı temsil etmektedirler. Ölçümlerin yeni eksene izdüşümü yapıldığında yeni değişkenler elde edilmektedir. Bu yeni değişkenlerin varyansı tüm eksenlerde elde edilebilecek maksimum değerdir. Bu yeni değişkenlere z-skorumları adı verilir. \mathbf{z}_i z-skorumları olmak üzere;

$$\mathbf{z}_i = \mathbf{X}_i \cdot \mathbf{U}_i \quad , i=1,2,\dots,p \quad (3.3)$$

\mathbf{z}_i vektörü, orijinal \mathbf{X} verisinin \mathbf{U}_i ile belirtilen doğrusal kombinasyonundan ibarettir. İlk birkaç k adet ana bileşenin varyansları toplamı, orijinal verinin toplam varyansını büyük ölçüde temsil edebildiğinden ötürü, tüm ana bileşenlerin kullanımına gerek olmamaktadır.

3.3 Doğrusal Regresyon Analizi

İstatistikte, regresyon yöntemi, cevap değişkenleri ve tahmin değişkenlerinden oluşan sayısal verinin modellenmesi ve analizi amaçlı kullanılmaktadır. Cevap değişkenleri, tahmin değişkenlerinin fonksiyonu olarak modellenmektedir. Bu fonksiyon, regresyon katsayıları ve bir hata teriminden oluşur. Bu bir en küçük kareler yöntemi uygulamasıdır. Hata terimleri cevap değişkenlerindeki *tanımlanamamış varyasyonu* temsil eder.

p adet tahmin değişkeni; $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_p$ ve q adet cevap değişkeni $\mathbf{y}_1, \mathbf{y}_2, \dots, \mathbf{y}_q$ olduğunu varsayalım ve $(n \times p)$ boyutlu bir tahmin değişkenleri matrisi \mathbf{X} ve $(n \times q)$ boyutlu bir cevap değişkenleri matrisi \mathbf{Y} tanımlanmış olsun. Regresyon modeli aşağıdaki gibidir:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{X}\mathbf{B} \quad (3.4)$$

Burada \mathbf{B} , (pxq) boyutlu regresyon katsayıları matrisidir. \mathbf{B} matrisi için en küçük kareler yöntemi ile çözüm aşağıdaki denklem yardımıyla elde edilir:

$$\mathbf{B} = [\mathbf{X}^T \mathbf{X}]^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{Y} \quad (3.5)$$

3.4 Ana Bileşenlerin Regresyonu

Ana bileşenlerin regresyonunda (ABR) tahmin değişkenleri öncelikle ana bileşenlerine (z-skorlarına) dönüştürülmeli, ardından cevap değişkenleriyle regresyona tabi tutulması gerekir. \mathbf{U} ana bileşenler katsayı (özvektör) matrisi olmak üzere, \mathbf{Z} z-skorlar matrisinin (3.6) denkleminde de belirtildiği üzere, aşağıdaki şekilde elde edildiği bilinmektedir:

$$\mathbf{Z} = \mathbf{XU} \quad (3.6)$$

Esas veri olan tahmin değişkenlerini ana bileşenlerine dönüştürdükten sonra regresyon modelimiz aşağıdaki hali alacaktır:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{XB}_z \quad (3.7)$$

Bu denklemdeki \mathbf{B}_z , tahmin değişkenlerinin ana bileşenlerini kullanarak elde edilen regresyon katsayıları matrisidir.

4. DENEYSSEL ÇALIŞMA

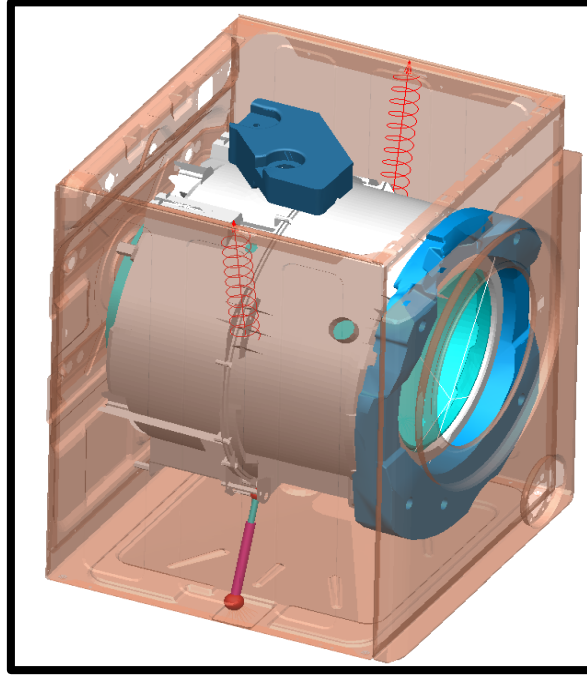
4.1 Kapsam

Bu bölümde tez kapsamında gerçekleştirilen deney ve hesaplamalara yer verilmiştir.

4.2 Amortisör Deneyi

Bölüm 1’de belirtildiği gibi, çamaşır makinasının ses kalitesini doğrudan etkilediği öngörülen tasarım parametrelerinin en önemlilerinden biri sönümdür. Kazan salınımlarının sönümlenmesinde kullanılan amortisörlerin ses kalitesine etkilerinin araştırılabilmesi amacıyla sözkonusu amortisörlerin sönüm karakteristiğinin belirlenmesi gerekmektedir.

Çamaşır makinalarının kazanı, makinanın üst kısmına iki uçtan sabitlenmiş bir kirişe iki adet yay vasıtasıyla asılmaktadır. Şekil 4.1’de görüldüğü üzere, kazanın alt kısmında ise iki adet sönümleyici amortisör bulunmaktadır [12].



Şekil 4.1 : Çamaşır makinası içerisinde kazanın yay ve amortisörlerle bağlantı şekli.

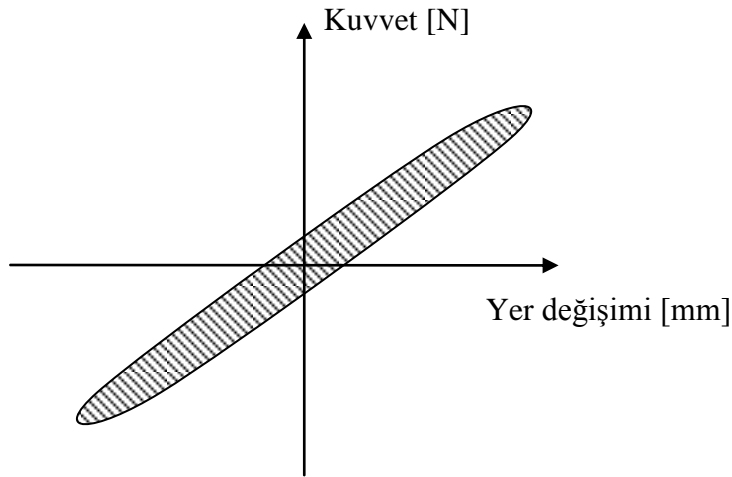
Bu yay-kütle-amortisör dinamik sistemi kazan titreşimlerinin gövdeye iletilmesini en aza indirmekte ve böylelikle ses kalitesine katkıda bulunmaktadır.

4.2.1 Deneyin amacı

Çamaşır makinalarının seri üretiminde kullanılan farklı tip amortisörlerin sönüm değerlerini belirleyerek elde edilen sonuçların ses kalitesine etkilerini araştırmak deneyimizin amacıdır.

4.2.2 Deney metodu

Amortisörlerin sönüm değerlerini belirleyebilmek için, amortisörün her iki ucundan aksel yönde uygulanan sinüsoidal yerdeğişimine karşılık amortisörün uyguladığı tepki kuvveti ölçülmüştür. Şekil 4.2 'de temsilen gösterilen kuvvet-yer değişimi eğrisinin altında kalan alanın hesabıyla bir çevrimdeki sönüm enerjisine ulaşılmıştır.



Şekil 4.2 : Amortisör kuvvet-yerdeğişimi grafiği.

Şekil 4.2'de görülen taralı alanın hesabında trapezoid yöntemi kullanılmıştır (4.1).

$$\int_a^b f(x)dx = \frac{1}{2}(b-a)(f(a) + f(b)) \quad (4.1)$$

4.2.3 Deney kapsamı

Beş farklı tip amortisör deney kapsamına alınmış, her modelden 3'er adet numune 4 farklı genlikte ve 5 farklı frekansta test edilerek toplamda 300 deney gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.1 : Amortisör tipleri ve testte uygulanan genlik ve frekanslar.

Amortisör Tipi	Genlik [mm]	Frekans [Hz]
AK	± 0.1	5
AU	± 0.5	10
AS	± 1.0	15
CM	± 2.0	20
AB		30

4.2.4 Deney kurulumu

Deneyde MTS 858 Mini Bionix II deney tezgahı kullanılmıştır. Tezgaha bağlanışta, sınır şartlarının sağlıklı olabilmesi için, gerçekte çamaşır makinasına bağlanma şekline olabildiğinde sadık kalınarak amortisörün her iki tarafına çamaşır makinasının alt çelik şase sacından kesilen profil orijinal plastik pimlerle tutturulmuştur ve altta yük hücresi, üstte de hareketli piston olacak şekilde deney tezgahına bağlantı yapılmıştır (Şekil 4.3, 4.4 ve 4.5). Gerçekte amortisörün üst kısmı kazanın plastik parçasına bağlı durumdadır, ancak bu bağlantı şekli, plastiğin deneyde pratik açıdan elverişsizliği dolayısıyla tercih edilmemiştir.



Şekil 4.3 : Deney tezgahına bağlanmaya hazır bir numune.



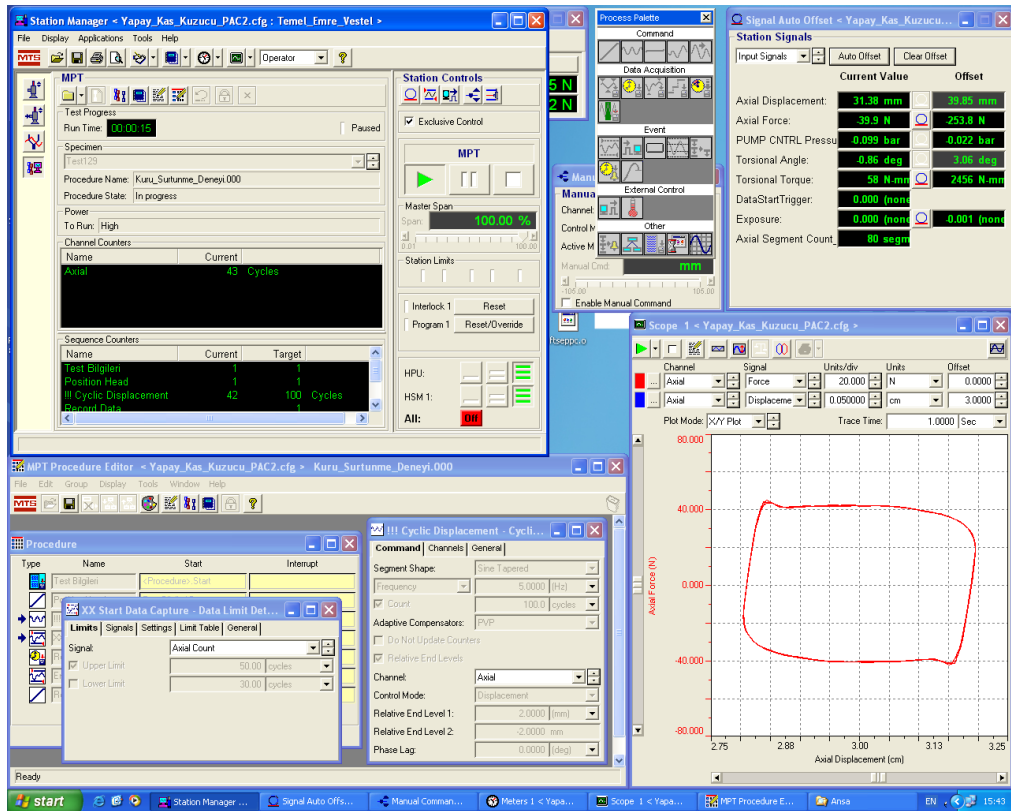
Şekil 4.4 : Amortisörün plastik pim vasıtasıyla çelik şase parçasına montajı.



Şekil 4.5 : Deney numunesinin tezgaha montajı.

4.2.5 Deney adımları

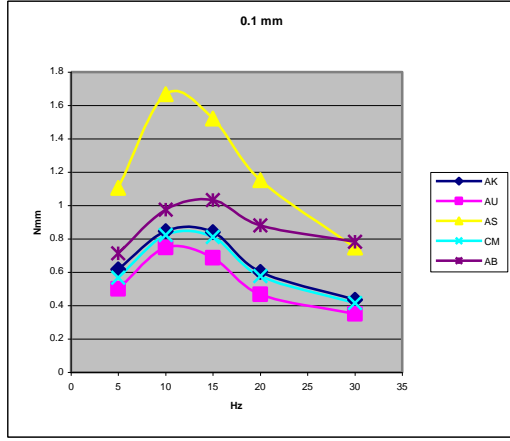
Numune deney tezgahına bağlandıktan sonra strok minimum konuma ayarlanır. Ardından bilgisayar kontrollu deney başlatılır. Bu deney şu adımlardan oluşur: Strok 30 mm konuma getirilir, belirli bir frekans ve genlikte sinüsoidal yerdeğişimi uygulanır, rejim durumunda yük hücresinden ve yer değişimi sensöründen veri toplanmaya başlanır, birkaç çevrim boyunca toplanan veriler bir dosyaya kaydedilir, sarsma sonlandırılır ve piston ilk konumuna geri getirilir, bu işlemler tüm frekans ve stroklarda (genliklerde) tekrarlanır. Ardından parça sökölerek tüm bu işlemler diğer numuneler için tekrarlanır. Bilgisayardaki deney kontrol ekranı Şekil 4.6’da görölmektedir.



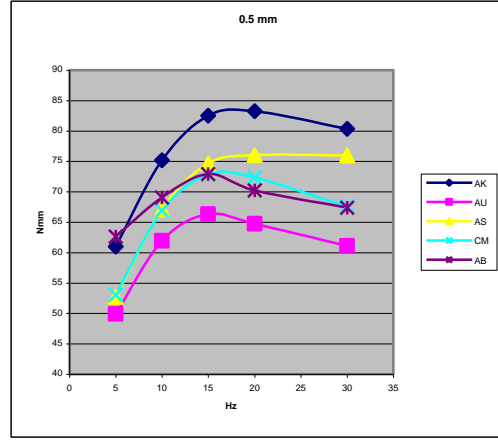
Şekil 4.6 : Bilgisayarda deney kontrol ekranı.

4.2.6 Deney sonuçları

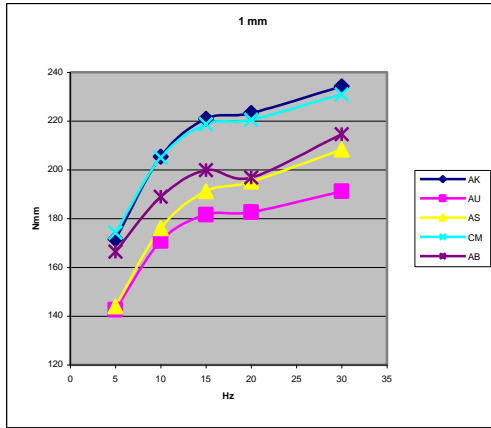
Dört farklı genlik için beş farklı tip amortisörün frekans-sönüm grafikleri Şekil 4.7'de görülmektedir.



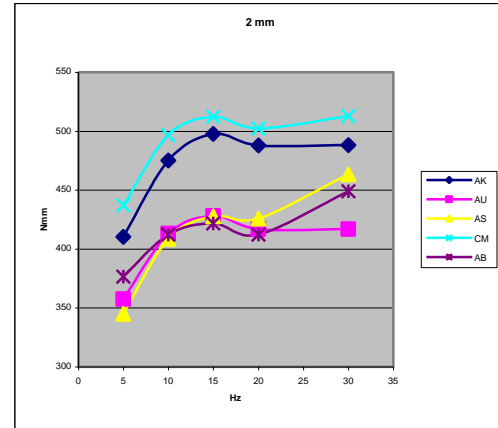
(a)



(b)



(c)

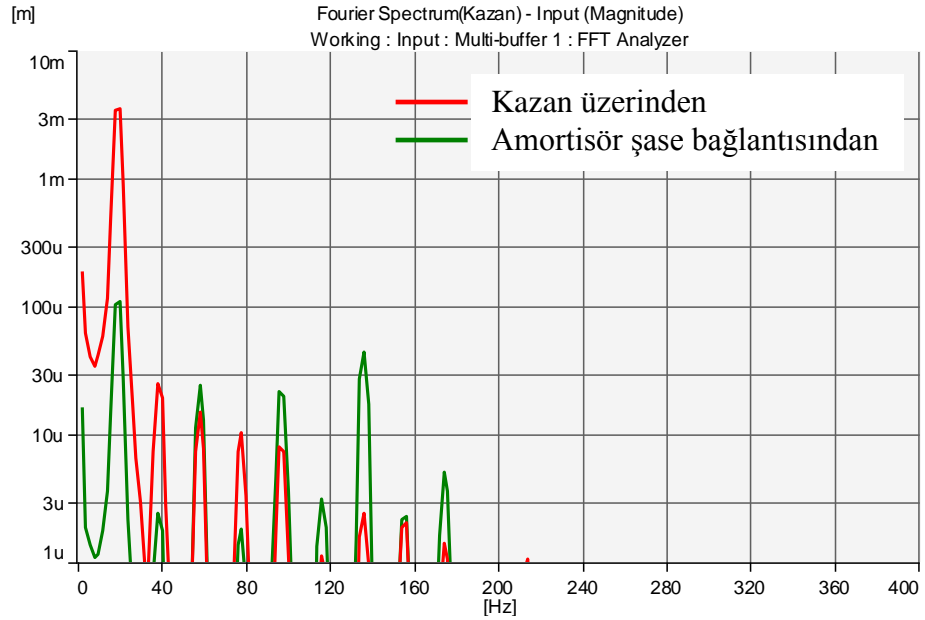


(d)

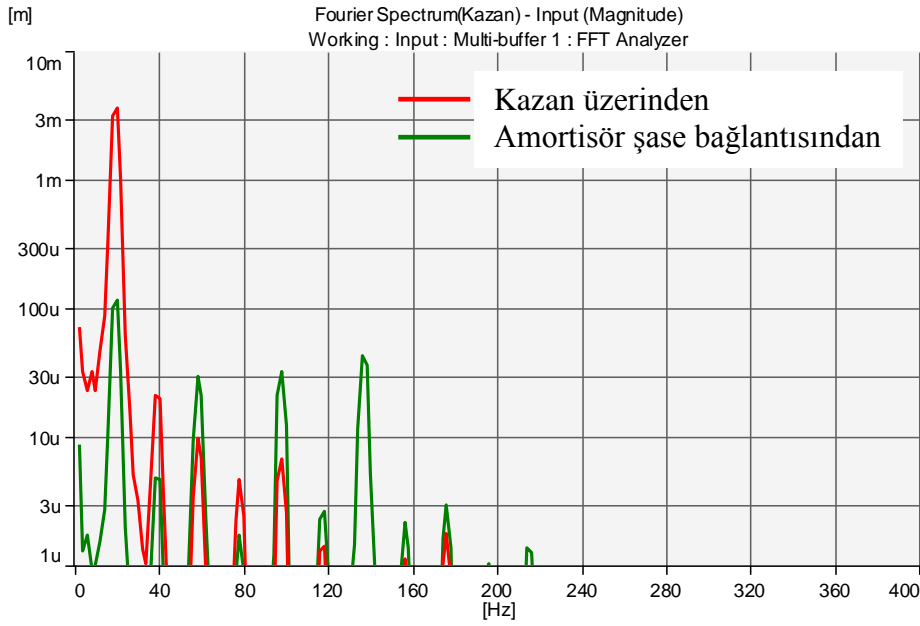
Şekil 4.7 : Frekanslara göre amortisörlerin sönüm miktarları: (a) Strok ± 0.1 mm. (b) Strok ± 0.5 mm. (c) Strok ± 1.0 mm. (d) Strok ± 2.0 mm.

Şekil 4.6'daki grafiklerden, ± 0.1 mm strokta tüm amortisörlerin viskoz karakteristiğe yakın bir sönüm eğrisi oluşturduğu görülmektedir. Bu da, ± 0.1 mm strokta, şaseye ve kazana bağlantı noktalarındaki elastik elemanların hareketinin piston hareketinden daha baskın olduğunu göstermektedir. Her strok durumunda minimum sönüm değerine sahip olan marka AU olmaktadır. ± 0.1 mm strokta AS marka amortisör diğerlerinden çok daha yüksek sönüm özelliği göstermektedir. Ancak strok yükseldiğinde sönüm miktarı diğer amortisörlerinkine yakın olmaktadır. ± 0.1 mm strokta maksimum sönüm, 10-15 Hz frekans aralığında gerçekleşmektedir. ± 0.5 mm'den büyük stroklarda frekansa bağlı olarak sönüm değerleri incelendiğinde, 5 Hz ile 15 Hz arasında bir artış olduğu, ondan sonra frekans arttıkça yaklaşık olarak sabit seyrettiği görülmektedir.

Dakikada 1200 devirle sıkma yapan bir çamaşır makinasında, kazanının üzerinden ve amortisörün alt şase bağlantısı üzerinden B&K 4507 ve 4513 piezoelektrik ivmeölçerler ve B&K Pulse çok kanallı analiz cihazı yardımıyla düşey doğrultuda eşzamanlı olarak titreşim ölçülmüştür. Bu ölçüm, makinaya iki farklı amortisör bağlanarak aynı çalışma koşullarında tekrarlanmış olup, titreşim yer değişimi spektrumları Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da görülmektedir.



Şekil 4.8 : Maksimum devirli sıkma aşamasında çamaşır makinası kazanı üzerinden alınan titreşim yer değişimi spektrum grafiği (amortisör: AB).



Şekil 4.9 : Maksimum devirli sıkma aşamasında çamaşır makinası kazanı üzerinden alınan titreşim yer değişimi spektrum grafiği (amortisör: AK).

Ölçüm sonuçlarına bakıldığında, kazanın 1200 dev/dak dönüş hızında (20 Hz’te) 3.50 mm RMS genlikle titreştiği görülmektedir. Frekans spektrumunda dönüş frekansındaki tepenin diğerlerine nazaran çok baskın olması, kazanın sinüsoidal titreşim yaptığını göstermektedir. Bu durumda titreşim genliğinin RMS değerini $\sqrt{2}$ ile çarptığımızda titreşim tepe değerini 4.95 mm (tepe) olarak elde ederiz.

Amortisör deneyimizdeki en yüksek genliğe sahip ± 2.0 mm strok için elde ettiğimiz Şekil 4.7d ‘de görülen grafikte, kazan titreşim frekansı olan 20 Hz için değerlendirecek olursak, amortisör sönüm değerlerini büyükten küçüğe şu şekilde sıralayabiliriz: CM, AK, AS, AU, AB.

Bu bulgular ışığında, kazan titreşimlerinin en yüksek düzeyde sönmülenerak makina gövdesine aktarılmasını engellemek için CM ve AK amortisörlerinin kullanımının uygun olacağı görülmektedir.

Titreşim ölçüm sonuçlarında, amortisörden şaseye iletilen titreşimlere göz attığımızda, AB marka amortisör bağlı olduğu halde, amortisörün bağlı olduğu makina şasesi üzerinden ölçülen düşey titreşimin 20 Hz’teki değeri 106 μ m RMS, AK marka amortisör bağlıysen ise 118 μ m RMS olmaktadır. Bu değerler, her iki amortisörün de kazandan şaseye titreşim iletimini başarılı bir şekilde engellediğini göstermektedir.

4.3 Ses Kalitesi Nesnel ve Öznel Testleri

Bu bölüm, ses kayıtlarının yapılması, nesnel metriklerin ses kalitesi yazılımı yardımıyla hesaplanması ve öznel testleri kapsamaktadır.

4.3.1 Ses kayıtlarının yapılması

Ses kayıtları, çamaşır makinasının genel kullanım mekanı olan banyo ortamını akustik olarak temsil edebilecek bir mekanda gerçekleştirilmiştir. Standart çamaşırlerle yüklenen test makineleri “60°C pamuklu” programında çalıştırılmış, makinadan bir metre uzaklığa yerleştirilmiş Brüel & Kjør Tip 4100 Kafa ve Göğüs Simülatörü (HATS) üzerindeki kulakların herbiri içerisinde bulunan mikrofonlarla “çift kulaklı” alınan ses sinyali, Brüel & Kjør Pulse çok kanallı analiz sistemi kullanılarak 24-bit çözünürlükte ve 65 kHz örnekleme ile kaydedilmiştir.



Şekil 4.10 : Ses kaydı kurulumu.

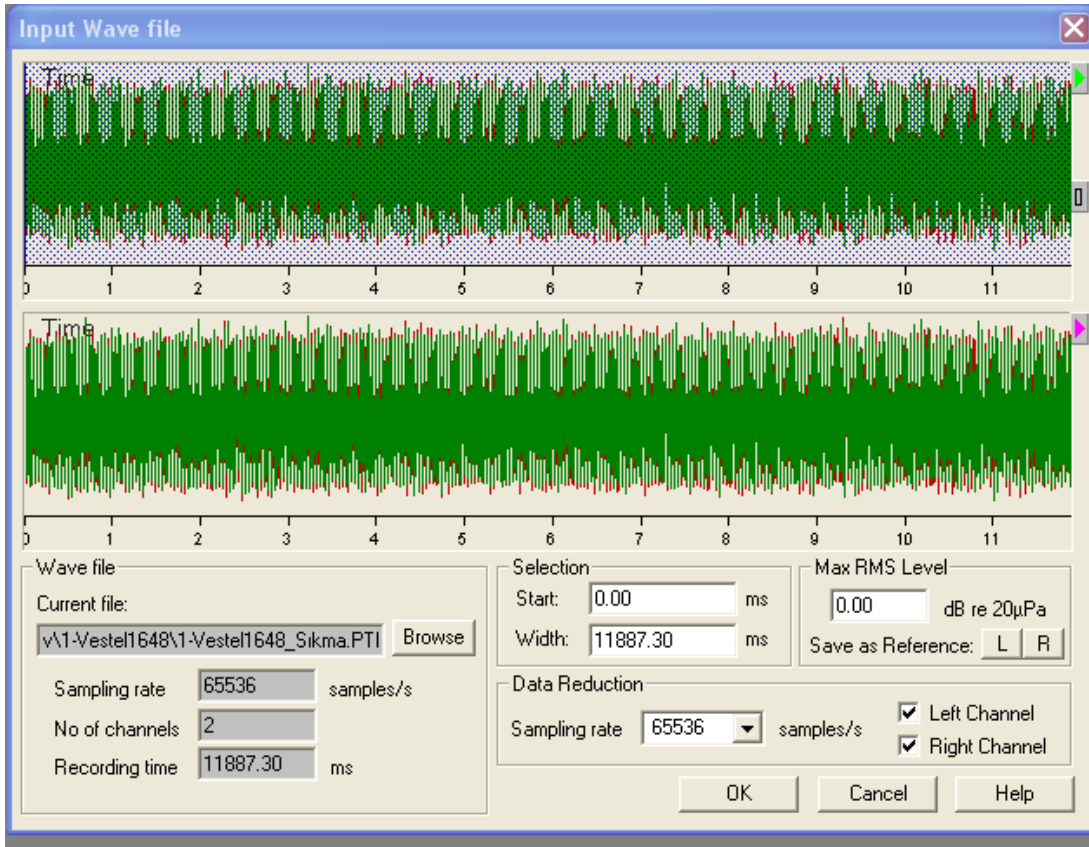
4.3.2 Ses kayıtlarının sınıflandırılması

Çamaşır makinasının yıkama programı boyunca değişik ses özelliklerine sahip aşamalar bulunmaktadır. Bunlar genel olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Su alma
- Yıkama
- Durulama

- Su boşaltma
- Sıkma

Bu aşamaların çamaşır makinası ses kalitesi açısından en belirleyici özellikte olanları “su alma”, “yıkama” ve “sıkma” şeklindedir. Herbir makinanın ses kayıtları içerisinde bu aşamalar ayrıştırılmış ve her aşamayı temsil edebilecek 5 saniyelik ses kayıtları belirlenerek Brüel & Kjør Sound Quality adlı ses kalitesi yazılımına aktarılmıştır.



Şekil 4.11 : Kaydedilen ses dosyalarının ses kalitesi yazılımına aktarım penceresi.

4.3.3 Metriklerin hesaplanması

Çalışmada kullanılmak üzere seçilen ses örneklerine ait 21 adetten müteşekkil ses kalitesi metrikleri, ses kalitesi yazılımında belirlenerek tablo haline getirilmiştir (Çizelge 4.2 – 4.3 – 4.4).

Çizelge 4.2 : Su alma aşaması için hesaplanan ses kalitesi metrikleri.

No:	Açıklama	MAKİNA							
		A	B	C	D	E	F	G	H
1	Stasyonier Gürlük [sone]	19.98	15.84	15.34	14.95	16.26	21.24	17.14	16.08
2	Kabalık [asper]	0.57	0.57	0.52	0.52	0.52	0.51	0.51	0.52
3	Dalgalanma Şiddeti [vacil]	1.82	1.31	1.14	1.3	1.8	1.2	1.78	1.2
4	Ton-Gürültü Oranı [dB]	-20	0	-20	0	-20	0	0	0
5	Baskınlık Oranı [dB]	-20	-1	-20	1.54	-20	1.99	1.89	2.19
6	İstatistiki Gürlük Ortalaması [sone]	19.44	15.45	14.8	14.57	15.85	20.74	16.71	15.65
7	İstatistiki Gürlük N1 [sone]	24.28	18.52	16.62	15.88	17.56	22.67	18.57	17.48
8	İstatistiki Gürlük N2 [sone]	19.42	15.46	14.72	14.74	16.15	20.74	16.98	15.65
9	İstatistiki Gürlük N3 [sone]	9.41	13.6	13.56	8.43	5.19	19.14	7.24	13.97
10	İstatistiki Anlık Gürlük Ortalaması [sone]	19.2	15.34	14.75	14.5	15.75	20.53	16.57	15.5
11	İstatistiki Anlık Gürlük N1 [sone]	24.45	18.25	17.08	16.11	17.87	22.92	18.8	17.63
12	İstatistiki Anlık Gürlük N2 [sone]	19.24	15.34	14.66	14.65	16.01	20.47	16.8	15.51
13	İstatistiki Anlık Gürlük N3 [sone]	10.27	13.05	13.18	8.78	5.45	18.6	7.84	13.6
14	Zwicker Keskinliği Ortalaması [acum]	3.45	3.11	2.44	2.31	2.83	3.16	2.88	3.07
15	Zwicker Keskinliği N1 [acum]	3.79	3.42	2.64	2.66	3.13	3.44	3.12	3.4
16	Zwicker Keskinliği N2 [acum]	3.49	3.14	2.44	2.31	2.87	3.16	2.9	3.08
17	Zwicker Keskinliği N3 [acum]	2.27	2.35	2.25	2.12	2.14	2.87	2.14	2.47
18	Aures Keskinliği Ortalaması [acum]	5.28	4.48	3.53	3.27	4.05	4.92	4.31	4.41
19	Aures Keskinliği N1 [acum]	5.79	4.88	3.84	3.56	4.46	5.31	4.67	4.81
20	Aures Keskinliği N2 [acum]	5.34	4.63	3.52	3.26	4.12	4.94	4.38	4.43
21	Aures Keskinliği N3 [acum]	2.98	3.44	3.29	3.03	2.49	4.52	2.73	3.37

Çizelge 4.3 : Yıkama aşaması için hesaplanan ses kalitesi metrikleri.

No:	Açıklama	MAKİNA							
		A	B	C	D	E	F	G	H
1	Stasyonier Gürlük [sone]	3.66	3.18	2.76	3.04	3.74	3.42	1.27	2.95
2	Kabalık [asper]	0.53	0.62	0.56	0.74	0.76	0.78	0.34	0.7
3	Dalgalanma Şiddeti [vacil]	0.83	1.71	0.7	1.07	1.21	0.86	0.53	0.95
4	Ton-Gürültü Oranı [dB]	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Baskınlık Oranı [dB]	11.83	2.85	7.02	3.58	0.65	-0.38	1.76	4.5
6	İstatistiki Gürlük Ortalaması [sone]	3.4	2.95	2.42	2.78	3.46	3.14	1.18	2.85
7	İstatistiki Gürlük N1 [sone]	4.58	4.08	3.83	3.82	4.37	4.59	1.84	3.4
8	İstatistiki Gürlük N2 [sone]	3.59	2.88	2.41	2.92	3.6	3.39	1.16	2.86
9	İstatistiki Gürlük N3 [sone]	0.91	2.34	1.22	0.56	0.84	0.63	0.82	2.25
10	İstatistiki Anlık Gürlük Ortalaması [sone]	3.38	2.95	2.43	2.75	3.45	3.16	1.18	2.85
11	İstatistiki Anlık Gürlük N1 [sone]	4.62	4.4	3.99	3.93	4.57	4.71	1.97	3.6
12	İstatistiki Anlık Gürlük N2 [sone]	3.54	2.87	2.45	2.89	3.55	3.37	1.13	2.85
13	İstatistiki Anlık Gürlük N3 [sone]	0.91	2.22	1.23	0.53	0.86	0.63	0.75	2.14
14	Zwicker Keskinliği Ortalaması [acum]	1.28	1.76	1.56	1.71	1.94	1.45	1.37	2.02
15	Zwicker Keskinliği N1 [acum]	1.89	2.15	2	2.47	2.32	1.99	1.79	2.4
16	Zwicker Keskinliği N2 [acum]	1.27	1.77	1.54	1.71	1.99	1.41	1.34	2.02
17	Zwicker Keskinliği N3 [acum]	0.99	1.44	1.24	1.29	1.07	1.22	1.09	1.74
18	Aures Keskinliği Ortalaması [acum]	1.39	2.01	1.73	1.92	2.29	1.67	1.39	2.33
19	Aures Keskinliği N1 [acum]	2.08	2.41	2.23	2.63	2.74	2.27	1.85	2.75
20	Aures Keskinliği N2 [acum]	1.36	2.02	1.72	1.93	2.36	1.62	1.37	2.32
21	Aures Keskinliği N3 [acum]	1.04	1.64	1.35	1.43	1.14	1.38	1.05	1.96

Çizelge 4.4 : Sıkma aşaması için hesaplanan ses kalitesi metrikleri.

No:	Açıklama	MAKİNA								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Stasyonier Gürlük [sone]	10.33	16.1	12.95	12.37	15.73	13.69	18	11.24	11.75
2	Kabalık [asper]	0.53	0.43	0.47	0.45	0.43	0.44	0.56	0.47	0.51
3	Dalgalanma Şiddeti [vacil]	1.1	0.84	0.94	0.95	1.08	0.92	1.39	0.97	1
4	Ton-Gürültü Oranı [dB]	0	7.99	3.54	0	0	0	0	0	0
5	Baskınlık Oranı [dB]	-1	11.5	7.92	-14.23	-1	2.56	-8.32	5.57	-0.12
6	İstatistiki Gürlük Ortalaması [sone]	10.11	15.66	12.78	12.07	15.36	13.3	17.02	11.01	11.4
7	İstatistiki Gürlük N1 [sone]	10.88	16.62	13.57	13.1	16.55	14.32	18.89	11.77	12.31
8	İstatistiki Gürlük N2 [sone]	10.1	15.64	12.82	12.05	15.38	13.32	17.03	11.02	11.43
9	İstatistiki Gürlük N3 [sone]	9.25	14.86	11.74	11.11	14.28	12.38	14.87	10.13	10.45
10	İstatistiki Anlık Gürlük Ortalaması [sone]	10.11	15.78	12.86	12.11	15.48	13.43	17.3	10.97	11.52
11	İstatistiki Anlık Gürlük N1 [sone]	11.23	17.03	14.04	13.46	17.18	14.88	19.95	12.14	12.7
12	İstatistiki Anlık Gürlük N2 [sone]	10.06	15.74	12.89	12.1	15.47	13.42	17.6	10.98	11.56
13	İstatistiki Anlık Gürlük N3 [sone]	8.95	14.67	11.67	10.75	13.97	12.2	13.6	9.81	10.28
14	Zwicker Keskinliği Ortalaması [acum]	2.68	1.85	1.85	1.86	1.97	1.69	1.23	2.21	1.68
15	Zwicker Keskinliği N1 [acum]	2.94	1.97	1.99	2.02	2.21	1.84	1.49	2.39	1.82
16	Zwicker Keskinliği N2 [acum]	2.68	1.85	1.85	1.86	1.96	1.69	1.21	2.22	1.68
17	Zwicker Keskinliği N3 [acum]	2.44	1.72	1.74	1.73	1.77	1.57	1.03	2.06	1.56
18	Aures Keskinliği Ortalaması [acum]	3.5	2.7	2.57	2.54	2.87	2.35	1.8	2.94	2.21
19	Aures Keskinliği N1 [acum]	3.84	2.89	2.74	2.74	3.26	2.57	2.35	3.18	2.39
20	Aures Keskinliği N2 [acum]	3.51	2.7	2.57	2.55	2.86	2.35	1.77	2.95	2.21
21	Aures Keskinliği N3 [acum]	3.19	2.5	2.42	2.34	2.58	2.19	1.42	2.71	2.03

4.3.4 Jüri testi

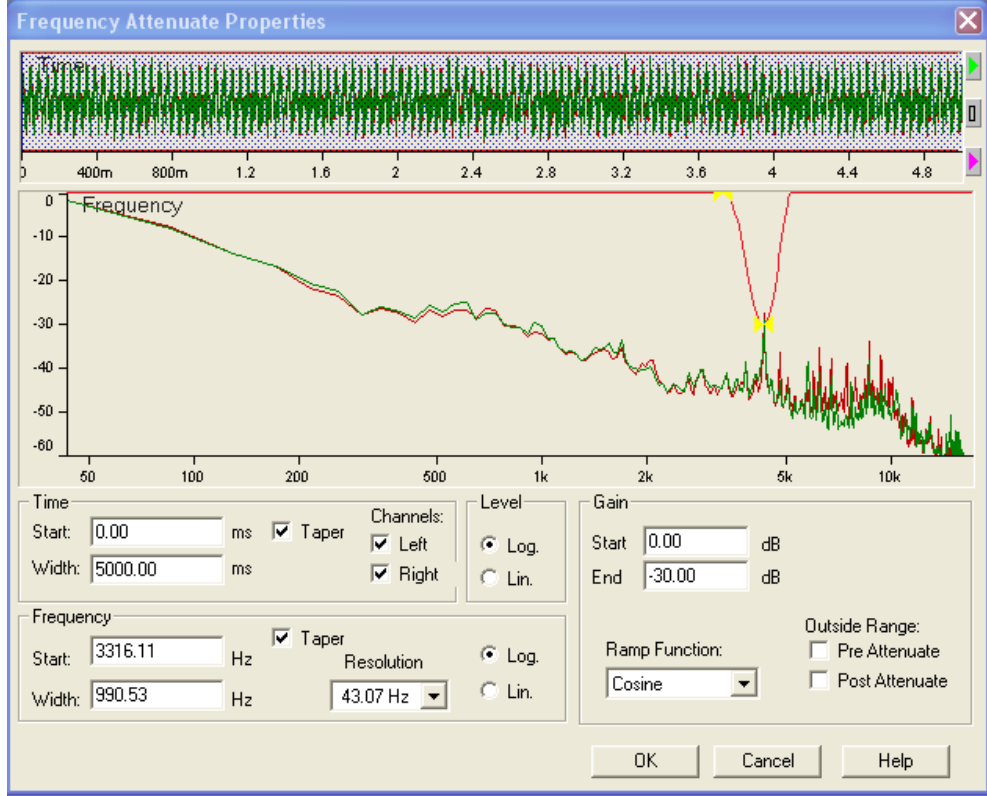
Bu çalışma kapsamında, 8 makinanın su alma, yıkama ve sıkma aşamalarına ait kaydedilen sesler, 12 kişiden oluşan bir jüri tarafından anlamsal fark metoduyla notlandırılmış, sadece sıkma aşamasına ait sesler ise aynı jüri ile zorlanmış seçim metoduna tabi tutulmuştur.

4.3.4.1 Jüri testinde kullanılan sesler

Test kapsamında kullanılmak üzere seçilen sekiz adet makinaya A'dan H'ye kadar harf kodları verilmiştir. Ayrıca C kodlu makinanın sıkma sesi, ses kalitesi yazılımında işlenmiş ve yeni sese I harf kodu verilmiştir. I kodlu ses, C kodlu makinanın 4.3 kHz'deki tonal bileşeninin frekans bastırma fonksiyonuyla ortadan kaldırılmış halidir (Şekil 4.12). Toplamda, su almaya ve yıkamaya ait sekiz, sıkma aşamasına ait olarak da 9 adet, herbiri 5 saniye süreli ses hazırlanmıştır (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5 : Ses kodlarının ait oldukları makina modelleri.

Harf Kodu	Makina Modeli
A	XV 10
B	XV 12
C	XV 16
D	B 10
E	AW 1061
F	AWSJ 1281
G	B 16
H	PW 10
I	XV 16 (Edited)



Şekil 4.12 : I sesinin oluşturulmasında C sesine uygulanan frekans bastırma fonksiyonu.

4.3.4.2 Jüri testinde kullanılan yazılım ve donanım

Teste ilişkin sesler, bir laptop bilgisayarın ses kartı kulaklık çıkışına bağlanmış olan, aktif gürültü kontrolü özelliğine sahip BOSE QuietComfort 2 tip kulaklık ile jüriye dinletilmiştir (Şekil 4.13). Seslere ait *.wav uzantılı dosyalar Brüel & Kjær Psychoacoustic Test Bench yazılımı içerisine çağrılmış ve bu yazılım üzerinden jüriye dinletilmiştir. Yazılım, sesleri seviye kalibrasyonlu bir şekilde kulaklığa iletmekte ve zorlanmış seçim testinde gerekli olan ardışık dinleme silsilesini otomatik olarak oluşturup icra edebilmektedir.



Şekil 4.13 : Jüri testi icrasına bir örnek.

Zorlanmış seçim testi föyü bir kağıda basılarak jüriye verilmiş, anlamsal fark testinde ise kağıt sarfiyatını önlemek ve veri işlemlerini kolaylaştırmak için, jüriden notlandırmalarını bilgisayarda Microsoft Excel yazılımında test föyü içerisindeki kutucuklara “x” harfi koyarak yapmaları istenmiştir.

4.3.4.3 Zorlanmış seçim testi

Şekil 4.12’de zorlanmış seçim testine ilişkin test föyü görülmektedir. Dokuz adet sestten oluşturulan, $n(n-1) / 2 = 36$ adet ses çifti, dinletiliş sırası rastgele olmak üzere, çifte ait seslerin arasında ise 1 sn. boşluk verilerek ve herbir çiftin dinletilmesi ardından 2 sn. boşluk verildikten sonra diğer çifte geçilmesiyle jüriye dinletilmiş ve jüri, tercih ettiği sese ait kutucuğu işaretleyerek testi icra etmiştir. Test 7 dakika sürmektedir.

Adı, Soyadı:
Jüri No:

Hangisini tercih edersiniz?

Cift No:					Cift No:				
1	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2	19	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2
2	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2	20	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2
3	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2	21	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2
4	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2	22	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2
5	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2	23	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2
6	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2	24	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2
7	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2	25	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2
8	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2	26	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2
9	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2	27	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2
10	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2	28	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2
11	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2	29	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2
12	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2	30	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2
13	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2	31	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2
14	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2	32	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2
15	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2	33	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2
16	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2	34	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2
17	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2	35	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2
18	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2	36	Ses 1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Ses 2

Şekil 4.14 : Zorlanmış seçim test föyü.

4.3.4.4 Anlamsal fark testi

Yaklaşık 35 dakika süren testte, su alma ve yıkama aşamalarına ait 8, sıkma aşamasına ait ise 9 adet ses örneği, sesin özelliklerini ifade eden 13 adet sıfatla 7’li ölçekte notlandırmaya tabi tutulmuştur. 7’li ölçek, -3’ten +3’e kadar rakamlarla notlandırılmaktadır. Bu notlandırma ölçeği “çok fazla = ± 3 ”, “oldukça = ± 2 ”, “biraz = ± 1 ” ve “kararsız = 0” olacak şekilde isimlendirilmiştir. Soldaki her sıfatın karşısında tam zıttı bulunmaktadır. Kelime anlamlarının jüri tarafından yanlış algılanması sonucu oluşabilecek hataların önüne geçmek için, bazı sıfatların zıt anlamları, sıfata “değil” kelimesi eklenerek elde edilmiştir (ör. “Keskin” – “Keskin Değil”).

Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’te görülmekte olan test föylerindeki sıfatların notlandırılmasına ilaveten jüri, herbir ses için tercih miktarını da işaretlemiştir. Tercih ölçeğinde “kararsız” seçeneğine yer verilmemiştir.

SU ALMA

A	Çok Fazla	Oldukça	Biraz	Kararsız	Biraz	Oldukça	Çok Fazla	
	3	2	1	0	-1	-2	-3	
Gür	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Zayıf
Keskin	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Keskin Değil
Hışırtılı	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Hışırtılı Değil
Uğultulu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Uğultulu Değil
Fıslamalı	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Fıslamalı Değil
Kalın (Bas)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	İnce (Tiz)
Düzenli	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Düzensiz
Dalgalı	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Dalgalı Değil
Tok	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tok Değil
Yumuşak	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Sert
Kulağa hoş geliyor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Kulağa hoş gelmiyor
Verimli	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Verimsiz
Kaliteli	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Kalitesiz
Tercih Ederim	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tercih Etmem

Şekil 4.15 : Su alma aşaması için anlamsal fark test föyü.

YIKAMA

A	Çok Fazla	Oldukça	Biraz	Kararsız	Biraz	Oldukça	Çok Fazla	
	3	2	1	0	-1	-2	-3	
Gür	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Zayıf
Keskin	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Keskin Değil
Vınlamalı	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Vınlamalı Değil
Darbeli	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Darbeli Değil
Fokurtulu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Fokurtulu Değil
Düzenli	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Düzensiz
Uğultulu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Uğultulu Değil
Gıcırdamalı	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Gıcırdamalı Değil
Dalgalı	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Dalgalı Değil
Yumuşak	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Sert
Kulağa hoş geliyor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Kulağa hoş gelmiyor
Verimli	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Verimsiz
Kaliteli	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Kalitesiz
Tercih Ederim	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tercih Etmem

Şekil 4.16 : Yıkama aşaması için anlamsal fark test föyü.

SIKMA

A	Çok Fazla	Oltukça	Biraz	Kararsız	Biraz	Oltukça	Çok Fazla	
	3	2	1	0	-1	-2	-3	
Gür	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Zayıf
Keskin	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Keskin Değil
Zangırdamalı	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Zangırdamalı Değil
Uğultulu	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Uğultulu Değil
Darbeli	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Darbeli Değil
Dalgalı	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Dalgalı Değil
Tonal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tonal Değil
Tok	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tok Değil
Düzenli	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Düzensiz
Kalın (Bas)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	İnce (Tiz)
Kulağa hoş geliyor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Kulağa hoş gelmiyor
Verimli	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Verimsiz
Kaliteli	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Kalitesiz
Tercih Ederim	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Tercih Etmem

Şekil 4.17 : Sıkma aşaması için anlamsal fark test föyü.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu bölümde nesnel ve öznel testlerin sonuçları sunularak irdelenmiş, hesaplanan metriklerle jüri testi sonuçlarının ilişkileri ortaya konmuştur. Ana bileşenler regresyonu yardımıyla “tercih miktarı”nı yansıtabilecek bir matematik model aranmıştır. Bu süreçte ihtiyaç duyulan hesaplamalar için MATLAB R2009a programında yazılan kod EK.1’de sunulmuştur.

5.1 Nesnel Test Sonuçları - Metrikler

Bölüm 4.3.3’te her makina için hesaplanan 21 adet ses kalitesi metriğine ait korelasyon matrisi (Pearson, R^2) Şekil 5.1’de görülmektedir.

	Col 1	Col 2	Col 3	Col 4	Col 5	Col 6	Col 7	Col 8	Col 9	Col 10	Col 11	Col 12	Col 13	Col 14	Col 15	Col 16	Col 17	Col 18	Col 19	Col 20	Col 21
Col 1		0.001	0.168	0.101	0.002	0.996	0.999	0.996	0.958	0.998	0.994	0.999	0.873	0.506	0.441	0.517	0.566	0.330	0.188	0.344	0.400
Col 2	0.001		0.609	0.147	0.124	0.008	0.001	0.008	0.049	0.006	0.000	0.002	0.122	0.011	0.001	0.012	0.028	0.050	0.006	0.053	0.101
Col 3	0.168	0.609		0.240	0.290	0.134	0.186	0.135	0.055	0.141	0.219	0.162	0.008	0.095	0.034	0.103	0.163	0.109	0.007	0.118	0.219
Col 4	0.101	0.147	0.240		0.434	0.122	0.083	0.121	0.191	0.117	0.064	0.105	0.266	0.003	0.015	0.003	0.000	0.003	0.002	0.003	0.011
Col 5	0.002	0.124	0.290	0.434		0.000	0.006	0.000	0.006	0.000	0.009	0.001	0.032	0.049	0.023	0.052	0.071	0.077	0.027	0.077	0.118
Col 6	0.996	0.008	0.134	0.122	0.000		0.993	1.000	0.977	1.000	0.995	0.997	0.907	0.481	0.423	0.491	0.535	0.301	0.173	0.314	0.362
Col 7	0.999	0.001	0.186	0.083	0.006	0.993		0.993	0.949	0.995	0.998	0.998	0.858	0.512	0.442	0.523	0.574	0.336	0.189	0.350	0.409
Col 8	0.996	0.008	0.135	0.121	0.000	1.000	0.993		0.976	1.000	0.985	0.998	0.907	0.485	0.426	0.495	0.538	0.305	0.176	0.318	0.365
Col 9	0.958	0.049	0.055	0.191	0.006	0.977	0.949	0.976		0.973	0.928	0.960	0.974	0.411	0.374	0.419	0.448	0.232	0.141	0.242	0.270
Col 10	0.998	0.006	0.141	0.117	0.000	1.000	0.995	1.000	0.972		0.998	0.999	0.901	0.496	0.436	0.506	0.550	0.316	0.194	0.329	0.378
Col 11	0.994	0.000	0.219	0.064	0.009	0.985	0.998	0.985	0.928	0.988		0.999	0.829	0.523	0.447	0.535	0.591	0.351	0.193	0.366	0.431
Col 12	0.993	0.002	0.162	0.105	0.001	0.997	0.998	0.998	0.960	0.999	0.993		0.880	0.515	0.451	0.526	0.573	0.336	0.196	0.350	0.403
Col 13	0.873	0.122	0.008	0.266	0.032	0.907	0.858	0.907	0.974	0.901	0.829	0.880		0.350	0.334	0.356	0.368	0.177	0.121	0.186	0.193
Col 14	0.506	0.011	0.095	0.003	0.049	0.481	0.512	0.485	0.411	0.496	0.523	0.515	0.350		0.983	1.000	0.988	0.959	0.872	0.983	0.943
Col 15	0.441	0.001	0.034	0.015	0.023	0.423	0.442	0.426	0.374	0.436	0.447	0.451	0.334	0.983		0.978	0.943	0.948	0.923	0.946	0.892
Col 16	0.517	0.012	0.103	0.003	0.052	0.491	0.523	0.495	0.419	0.506	0.535	0.526	0.356	1.000	0.978		0.991	0.957	0.862	0.961	0.945
Col 17	0.566	0.028	0.163	0.000	0.071	0.535	0.574	0.538	0.448	0.550	0.591	0.573	0.368	0.988	0.943	0.991		0.941	0.802	0.948	0.958
Col 18	0.330	0.050	0.109	0.003	0.077	0.301	0.336	0.305	0.232	0.316	0.351	0.336	0.177	0.959	0.946	0.957	0.941		0.931	1.000	0.975
Col 19	0.188	0.006	0.007	0.002	0.027	0.173	0.189	0.176	0.141	0.184	0.193	0.196	0.121	0.872	0.923	0.862	0.802	0.931		0.922	0.831
Col 20	0.344	0.053	0.118	0.003	0.077	0.314	0.350	0.318	0.242	0.329	0.366	0.350	0.186	0.963	0.946	0.961	0.948	1.000	0.922		0.978
Col 21	0.400	0.101	0.219	0.011	0.118	0.362	0.409	0.365	0.270	0.378	0.431	0.403	0.193	0.943	0.892	0.945	0.958	0.975	0.831	0.975	

Şekil 5.1 : Ses kalitesi metrikleri korelasyon matrisi (Pearson, R^2).

Şekil 5.1’de kırmızı renkli kutucuklar yüksek, sarı renkli kutucuklar ise düşük korelasyonu simgelemektedir. Görüldüğü üzere, 1 numara ile 6’dan 13’e kadar numaralı metrikler kendi aralarında ve ayrıca 14 ile 21 numara aralığındaki metrikler de kendi aralarında yüksek korelasyona sahiptirler. İlk grubun gürlüğü ifade eden, ikinci grubun da keskinliği ifade eden metrikler olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla bu metrikleri gürlük ve keskinlik olarak iki metriğe indirmek mümkündür.

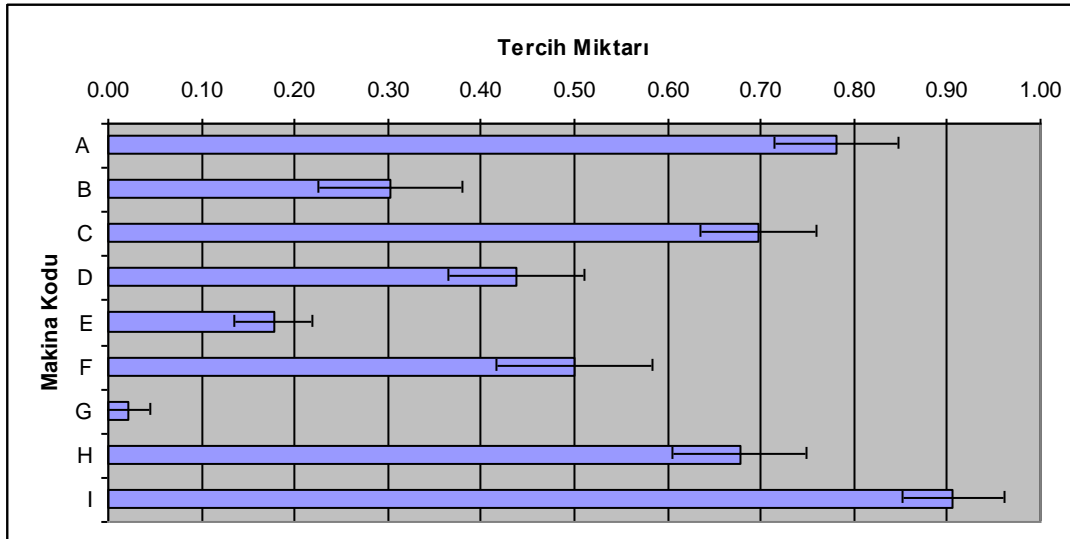
Ayrıca hesaplanan diğer metriklerden anlamlı varyasyona sahip olanlar “kabalık” ve “dalgalanma şiddeti” metrikleridir. Dolayısıyla, bu çalışmadaki hesaplamalarımızda nesnel metriklerden “gürlük” (no:1), “kabalık” (no:2), “dalgalanma şiddeti” (no:3) ve “keskinlik” (no:14 - Zwicker) kullanılacaktır.

5.2 Öznel Test (Jüri Testi) Sonuçları

Bu bölümde, zorlanmış seçim ve anlamsal fark testlerinin sonuçları irdelenmiştir.

5.2.1 Zorlanmış seçim testi sonuçları

Şekil 5.2’de sıkma seslerine ait zorlanmış seçim testinin sonuçları, standart sapmalarıyla birlikte gösterilmiştir.



Şekil 5.2 : Sıkma aşamasına ilişkin zorlanmış seçim testi tercih miktarı sonuçlarını gösterir grafik.

Jüri tarafından en çok beğenilen sıkma sesi I kodlu sestir. C kodlu makinanın sesindeki tonal bileşenin ortadan kaldırılarak işlenmesi sonucu elde edilen I sesi, beklendiği üzere, C sesinden daha çok tercih edilmiştir. G makinasının sıkma sesi ise bu test kapsamında en az tercih edilen sestir.

5.2.2 Anlamsal fark testi sonuçları

12 kişilik jüri testine ait anlamsal fark testi sonucunda elde edilen sıkma aşaması sıfatlarına ilişkin korelasyon matrisi Şekil 5.3’te görülmektedir (Pearson CC, r).

	Gürlük	Keskinlik	Zangırdama	Uğultu	Darbe	Dalga	Tonallık	Tokluk	Düzen	Kalınlık	Kulağa H	Verim	Kalite	Tercih
Gürlük		0.365	0.795	0.967	0.779	0.632	0.105	0.703	-0.618	0.692	-0.794	-0.592	-0.729	-0.760
Keskinlik	0.365		0.662	0.430	0.532	0.572	0.607	-0.278	-0.676	-0.271	-0.797	-0.765	-0.800	-0.794
Zangırdama	0.795	0.662		0.866	0.967	0.946	0.443	0.409	-0.937	0.472	-0.929	-0.916	-0.956	-0.929
Uğultu	0.967	0.430	0.866		0.854	0.730	0.259	0.699	-0.723	0.715	-0.863	-0.699	-0.815	-0.838
Darbe	0.779	0.532	0.967	0.854		0.963	0.446	0.541	-0.912	0.545	-0.845	-0.881	-0.876	-0.857
Dalga	0.632	0.572	0.946	0.730	0.963		0.434	0.396	-0.927	0.447	-0.783	-0.879	-0.856	-0.796
Tonallık	0.105	0.607	0.443	0.259	0.446	0.434		-0.176	-0.437	-0.187	-0.537	-0.556	-0.516	-0.584
Tokluk	0.703	-0.278	0.409	0.699	0.541	0.396	-0.176		-0.293	0.899	-0.275	-0.200	-0.226	-0.264
Düzen	-0.618	-0.676	-0.937	-0.723	-0.912	-0.927	-0.437	-0.293		-0.326	0.867	0.982	0.934	0.888
Kalınlık	0.692	-0.271	0.472	0.715	0.545	0.447	-0.187	0.899	-0.326		-0.313	-0.203	-0.306	-0.281
Kulağa Hoş Gelme	-0.794	-0.797	-0.929	-0.863	-0.845	-0.783	-0.537	-0.275	0.867	-0.313		0.902	0.979	0.994
Verim	-0.592	-0.765	-0.916	-0.699	-0.881	-0.879	-0.556	-0.200	0.982	-0.203	0.902		0.949	0.928
Kalite	-0.729	-0.800	-0.956	-0.815	-0.876	-0.856	-0.516	-0.226	0.934	-0.306	0.979	0.949		0.976
Tercih	-0.760	-0.794	-0.929	-0.838	-0.857	-0.796	-0.584	-0.264	0.888	-0.281	0.994	0.928	0.976	

Şekil 5.3 : Sıkma aşamasına ait anlamsal fark testi sonuçlarına ilişkin sıfat korelasyon matrisi.

Yüksek korelasyon değerleri kırmızı renkle, düşük korelasyon değerleri ise sarı renkle belirtilmiştir. Görüldüğü üzere “gürlük-üğultu”, “zangırdama-darbe-dalga”, “kulağa hoş gelme-kalite-verim-tercih miktarı” sıfat grupları yüksek korelasyonlu görülmektedir. Sesin düzenliliğini ifade eden “düzen” parametresiyle zangırdama darbe ve dalga parametrelerinin ilişkilerinin negatif işaretli olması da beklenen bir sonuçtur ve testin güvenilirliğini göstermektedir.

Benzer şekilde su alma aşaması için oluşturulan korelasyon matrisi Şekil 5.4’te verilmiştir. Keskinlik-fıslama-hışırta parametreleri birbirleriyle doğrudan ilişkili görünmektedir. Sıkma aşamasında olduğu gibi yine “kulağa hoş gelme-kalite-verim-tercih miktarı” parametreleri birbirleriyle yüksek derecede ilişkilidir.

	Gürlük	Keskinlik	Hışırta	Uğultu	Fıslama	Kalınlık	Düzen	Dalga	Tokluk	Yumuşaklık	Kulağa H	Verim	Kalite	Tercih
Gürlük		0.770	0.759	0.480	0.747	0.229	-0.315	0.372	-0.404	-0.678	-0.672	-0.507	-0.430	-0.642
Keskinlik	0.770		0.964	0.850	0.983	-0.356	-0.461	0.329	-0.846	-0.980	-0.972	-0.918	-0.868	-0.952
Hışırta	0.759	0.964		0.909	0.985	-0.321	-0.474	0.433	-0.783	-0.978	-0.953	-0.871	-0.826	-0.907
Uğultu	0.480	0.850	0.909		0.908	-0.426	-0.306	0.232	-0.720	-0.911	-0.851	-0.830	-0.798	-0.811
Fıslama	0.747	0.983	0.985	0.908		-0.322	-0.387	0.337	-0.811	-0.980	-0.951	-0.889	-0.836	-0.909
Kalınlık	0.229	-0.356	-0.321	-0.426	-0.322		0.599	-0.317	0.731	0.438	0.520	0.689	0.754	0.569
Düzen	-0.315	-0.461	-0.474	-0.306	-0.387	0.599		-0.813	0.632	0.505	0.579	0.603	0.621	0.643
Dalga	0.372	0.329	0.433	0.232	0.337	-0.317	-0.813		-0.450	-0.375	-0.403	-0.381	-0.368	-0.402
Tokluk	-0.404	-0.846	-0.783	-0.720	-0.811	0.731	0.632	-0.450		0.871	0.886	0.947	0.923	0.896
Yumuşaklık	-0.678	-0.980	-0.978	-0.911	-0.980	0.438	0.505	-0.375	0.871		0.974	0.928	0.885	0.946
Kulağa Hoş Gelme	-0.672	-0.972	-0.953	-0.851	-0.951	0.520	0.579	-0.403	0.886	0.974		0.963	0.944	0.983
Verim	-0.507	-0.918	-0.871	-0.830	-0.889	0.689	0.603	-0.381	0.947	0.928	0.963		0.989	0.977
Kalite	-0.430	-0.868	-0.826	-0.798	-0.836	0.754	0.621	-0.368	0.923	0.885	0.944	0.989		0.960
Tercih	-0.642	-0.952	-0.907	-0.811	-0.909	0.569	0.643	-0.402	0.896	0.946	0.983	0.977	0.960	

Şekil 5.4 : Su alma aşamasına ait anlamsal fark testi sonuçlarına ilişkin sıfat korelasyon matrisi.

Yıkama aşamasına ait korelasyon matrisi ise Şekil 5.5’te verilmektedir.

	Gürlük	Keskinlik	Vınlama	Darbe	Fokurtu	Düzen	Uğultu	Gıcırdamı	Dalga	Yumuşak	Kulağa H	Verim	Kalite	Tercih
Gürlük		0.740	0.786	0.690	0.661	-0.301	0.600	0.416	0.748	-0.697	-0.687	-0.376	-0.626	-0.786
Keskinlik	0.740		0.916	0.313	0.589	-0.310	0.644	0.738	0.481	-0.634	-0.634	-0.362	-0.525	-0.517
Vınlama	0.786	0.916		0.409	0.664	-0.340	0.680	0.820	0.599	-0.747	-0.838	-0.639	-0.744	-0.672
Darbe	0.690	0.313	0.409		0.819	-0.320	0.405	0.398	0.896	-0.717	-0.568	-0.130	-0.558	-0.722
Fokurtu	0.661	0.589	0.664	0.819		-0.341	0.603	0.690	0.714	-0.799	-0.622	-0.169	-0.570	-0.639
Düzen	-0.301	-0.310	-0.340	-0.320	-0.341		-0.853	-0.417	-0.415	0.713	0.516	0.379	0.521	0.659
Uğultu	0.600	0.644	0.680	0.405	0.603	-0.853		0.597	0.520	-0.875	-0.708	-0.482	-0.694	-0.800
Gıcırdamı	0.416	0.738	0.820	0.398	0.690	-0.417	0.597		0.577	-0.754	-0.787	-0.566	-0.709	-0.527
Dalga	0.748	0.481	0.599	0.896	0.714	-0.415	0.520	0.577		-0.841	-0.817	-0.472	-0.815	-0.873
Yumuşaklık	-0.697	-0.634	-0.747	-0.717	-0.799	0.713	-0.875	-0.754	-0.841		0.893	0.574	0.886	0.928
Kulağa Hoş Gelme	-0.687	-0.634	-0.838	-0.568	-0.622	0.516	-0.708	-0.787	-0.817	0.893		0.848	0.983	0.888
Verim	-0.376	-0.362	-0.639	-0.130	-0.169	0.379	-0.482	-0.566	-0.472	0.574	0.848		0.854	0.649
Kalite	-0.626	-0.525	-0.744	-0.558	-0.570	0.521	-0.694	-0.709	-0.815	0.886	0.983	0.854		0.907
Tercih	-0.786	-0.517	-0.672	-0.722	-0.639	0.659	-0.800	-0.527	-0.873	0.928	0.888	0.649	0.907	

Şekil 5.5 : Yıkama aşamasına ait anlamsal fark testi sonuçlarına ilişkin sıfat korelasyon matrisi.

“Vınlama-keskinlik” ve “dalga-darbe” sıfat çiftlerinin yüksek korelasyonlu olduğu görülmektedir. Sıkma ve su alma aşamalarındaki gibi “kulağa hoş gelme-kalite-verim-tercih miktarı” parametreleri yıkama aşamasında da yüksek derecede ilişkilidir.

Yukarıdaki analizlerde, ses kalitesini belirtmekte kullanılan bazı sıfatların birbirleriyle yüksek korelasyona sahip olduğu görülmüştür. Bu bağlamda, anlamsal fark testinde, yüksek korelasyonlu sıfat grupları içerisinde bir tanesi bırakılıp diğerleri kaldırılarak sıfat azaltmasına gidilmiştir. Çalışmanın bundan sonraki kısmında anlamsal fark testi sonuçları içerisinde hesaplamalarımızda kullanılacak sıfatlar zıt anlamlı karşılıklarıyla birlikte aşağıda verilmiştir:

Su Alma Aşaması: Gür / Zayıf, Keskin / Keskin Değil, Uğultulu / Uğultulu Değil, Fıslamalı / Fıslamalı Değil, Kalın (Bas) / İnce (Tiz), Düzenli / Düzensiz, Tok / Tok Değil, Yumuşak / Sert, Tercih Ederim / Tercih Etmem

Yıkama Aşaması: Gür / Zayıf, Keskin / Keskin Değil, Darbeli / Darbeli Değil, Fokurtulu / Fokurtulu Değil, Düzenli / Düzensiz, Uğultulu / Uğultulu Değil, Gıcırdamalı / Gıcırdamalı Değil, Tercih Ederim / Tercih Etmem

Sıkma Aşaması: Gür / Zayıf, Keskin / Keskin Değil, Uğultulu / Uğultulu Değil, Darbeli / Darbeli Değil, Dalgalı / Dalgalı Değil, Tok / Tok Değil, Düzenli / Düzensiz, Kalın (Bas) / İnce (Tiz), Tercih Ederim / Tercih Etmem

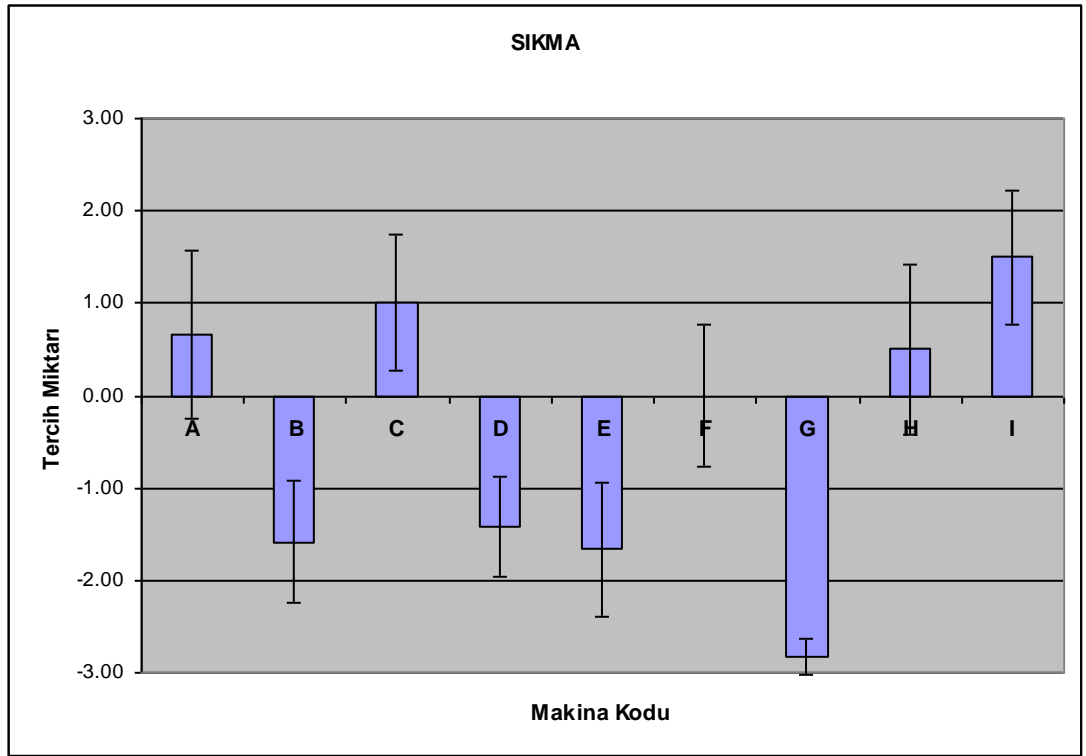
İleriki çalışmalarda yapılacak jüri testlerinde bu husus dikkate alınarak, birbirleriyle yüksek korelasyona sahip sıfatlar tek bir sığata indirgenerek testlerdeki veri kalabalığı ve zaman kaybı önlenabilir.

Şekil 5.6, 5.7 ve 5.8, anlamsal fark testindeki “tercih ederim / tercih etmem” notlandırması yoluyla elde edilen, “tercih miktarı” olarak isimlendireceğimiz test sonuçlarını standard sapmalarıyla birlikte göstermektedir.

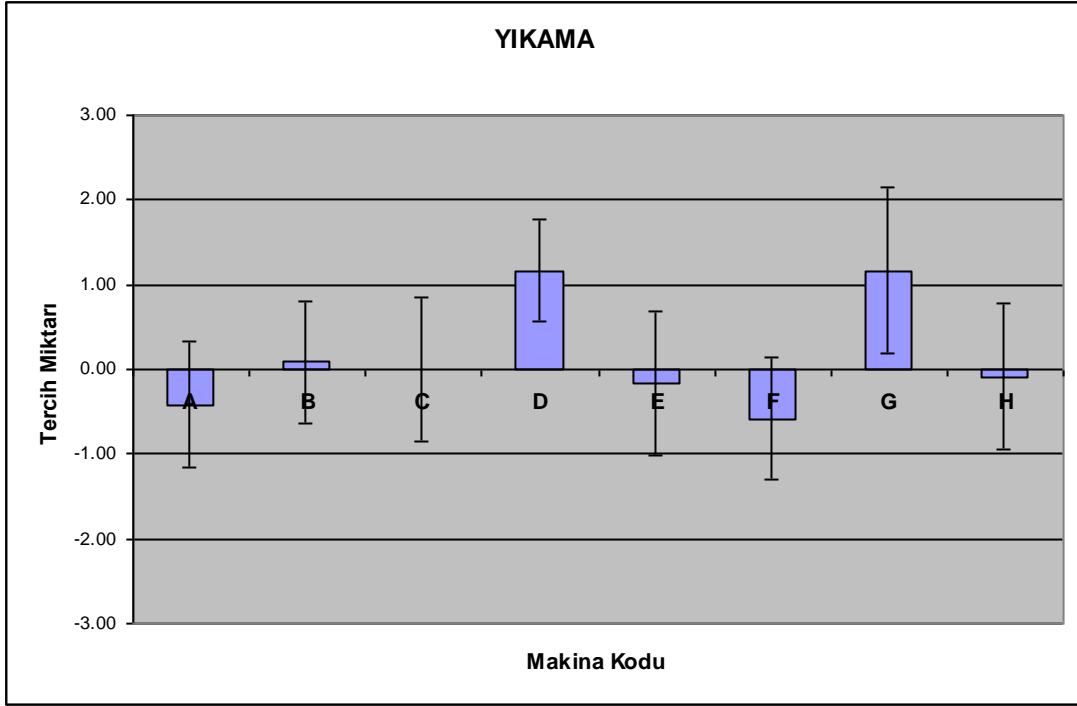
Sıkma aşamasının “tercih miktarı” sonuçları zorlanmış seçim testinden elde edilen sonuçlarla örtüşmektedir.

Yıkama aşamasında makinalara ilişkin tercih miktarı farkları standard sapmaların içerisinde kalsa da, D ve G makinalarına ait seslerin jüri tarafınca daha fazla tercih edildiği görülmektedir.

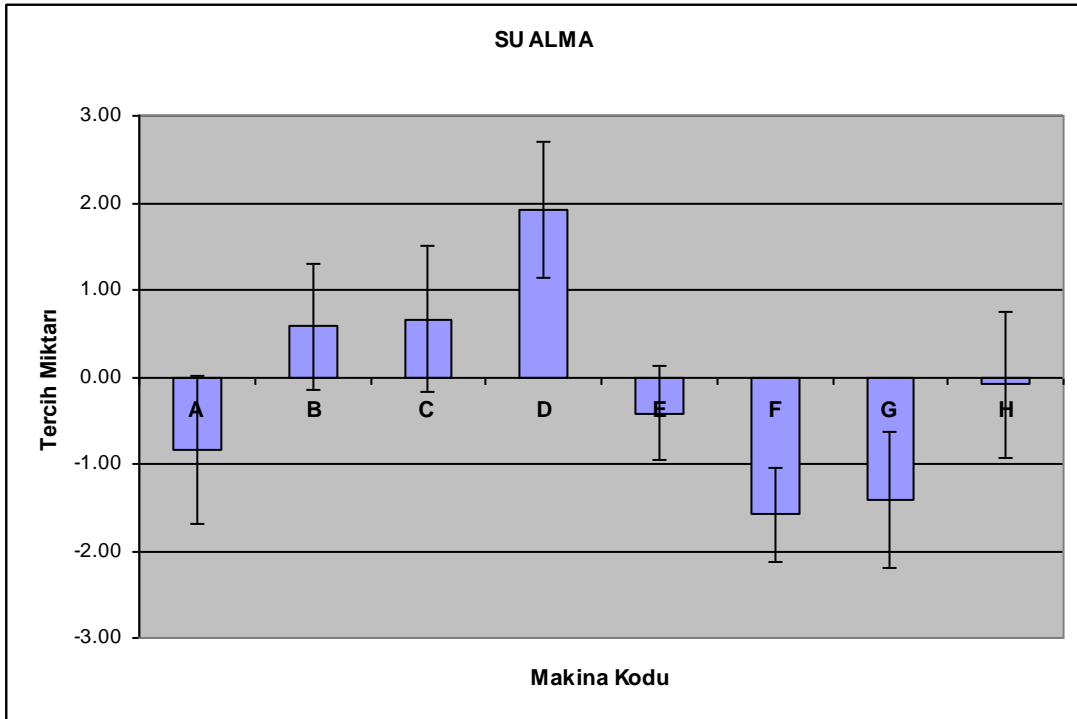
Su alma aşamasında ise A, F ve G makinaları daha az tercih edilirken, D makinası en çok tercih edilen su alma sesine sahip makina olmuştur.



Şekil 5.6 : Sıkma aşamasına ilişkin anlamsal fark testi tercih miktarını gösterir grafik.



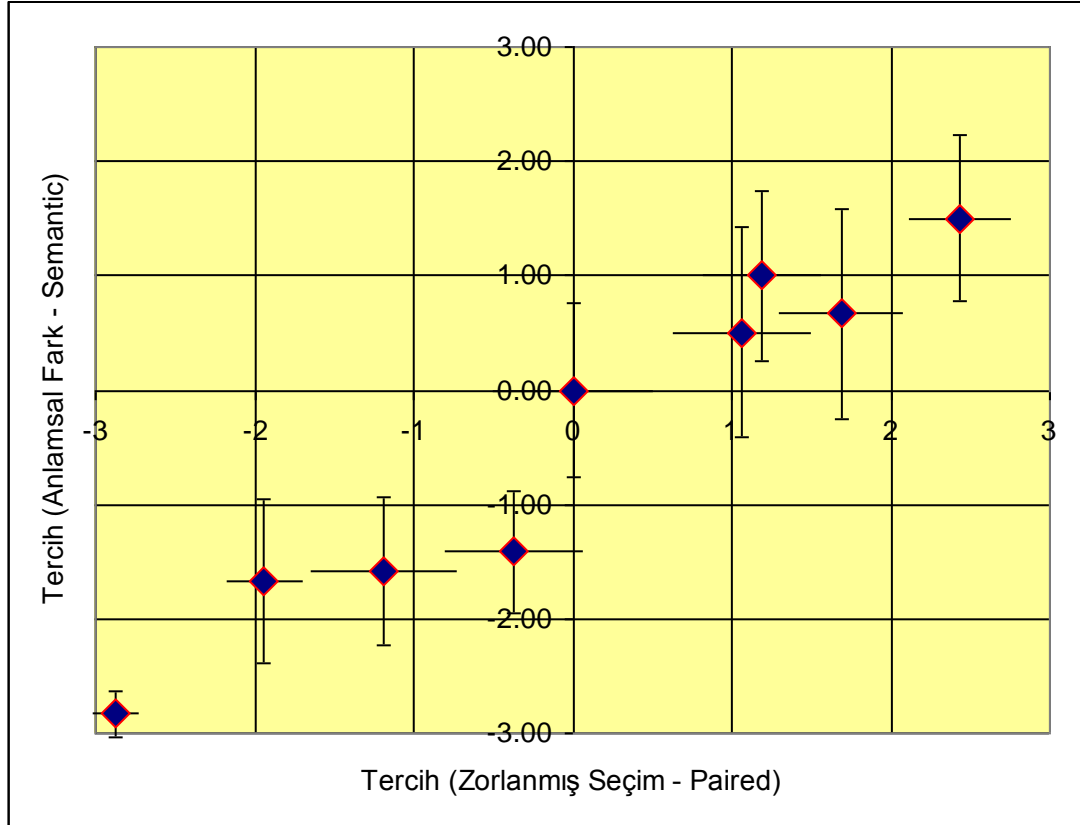
Şekil 5.7 : Yıkama aşamasına ilişkin anlamsal fark testi tercih miktarını gösterir grafik.



Şekil 5.8 : Su alma aşamasına ilişkin anlamsal fark testi tercih miktarını gösterir grafik.

5.2.3 Zorlanmış seçim ve anlamsal fark test sonuçlarının kıyaslanması

Sıkma aşaması sesleriyle yapılan zorlanmış seçim ve anlamsal fark testlerinde elde edilen tercih miktarları birbirlerine göre çizdirildiğinde (Şekil 5.9), iki testin sonuçlarının birbirleriyle uyumlu olduğu görülmektedir (Pearson, $R^2 = 0.93$). Bu uyum, testlerin tutarlılığının bir işaretidir.



Şekil 5.9 : Sıkma aşamasına ilişkin zorlanmış seçim ve anlamsal fark testleri tercih miktarı sonuçlarının karşılaştırmalı grafiği ($R^2 = 0.93$).

5.3 ABA Yöntemi İle Analiz

Elde edilen nesnel ve öznel verileri Ana Bileşenlerin Analizi (ABA) yöntemi ile inceleyelim:

Her kolonun ortalaması çıkartılarak merkezlenmiş ve standart sapmasına bölünerek birim varyanslı hale getirilmiş metrik matrisimize \mathbf{X}_m , jüri sıfatları matrisimize ise \mathbf{X}_j diyelim. Hesaplamalarımızda 4 adet metrik kullanılacağı, jüri testi kapsamında 8 adet sıfat bulunduğu ve sıkma aşaması için 9 adet ses örneği bulunduğu için \mathbf{X}_m (9x4), \mathbf{X}_j ise (9x8) boyutlarında matrislerdir.

Öncelikle sıkma aşamasını ele alalım. (3.1) denklemi kullanılarak X_m ve X_j için elde edilen kovaryans matrisleri S_m ve S_j olsun. (3.2) denklemi çözülerek U_m ve U_j özvektörleri (katsayı matrisleri) elde edilir (Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2). Satırlar değişkenleri, sütunlar ise ana bileşenleri ihtiva etmektedir.

Çizelge 5.1 : Metriklere ait katsayı matrisi U_m .

	AB 1	AB 2	AB 3	AB 4
Gürlük	0.49	-0.51	0.52	0.48
Kabalık	0.42	0.63	-0.30	0.58
Dalg. Şid.	0.58	0.36	0.37	-0.63
Keskinlik	-0.49	0.46	0.70	0.22

Çizelge 5.2 : Jüri sıfatlarına ait katsayı matrisi U_j .

	AB 1	AB 2	AB 3	AB 4	AB 5	AB 6	AB 7	AB 8
Gürlük	0.39	-0.14	0.48	-0.12	0.60	-0.03	-0.45	0.15
Keskinlik	0.23	0.58	0.38	-0.13	-0.47	0.12	-0.01	0.46
Uğultu	0.41	-0.06	0.43	0.14	-0.28	0.00	0.17	-0.72
Darbelilik	0.41	0.11	-0.18	0.04	0.39	0.41	0.66	0.13
Dalgahılık	0.37	0.24	-0.55	-0.13	-0.08	0.35	-0.54	-0.26
Tokluk	0.30	-0.50	-0.08	0.62	-0.31	0.13	-0.13	0.37
Düzenlilik	-0.38	-0.28	0.29	-0.20	-0.08	0.80	-0.07	-0.05
Kalınlık	0.30	-0.49	-0.12	-0.71	-0.28	-0.17	0.15	0.14

(3.3) denklemi kullanılarak elde edilen z-skorları Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'te görülmektedir. Satırlar örnekler, sütunlar ise ana bileşenlerdir. Metriklere ait z-skorları Z_m , jüri değişkenlerine ait z-skorları ise Z_j şeklinde adlandırılmıştır.

Çizelge 5.3 : Metriklere ait z-skor matrisi Z_m .

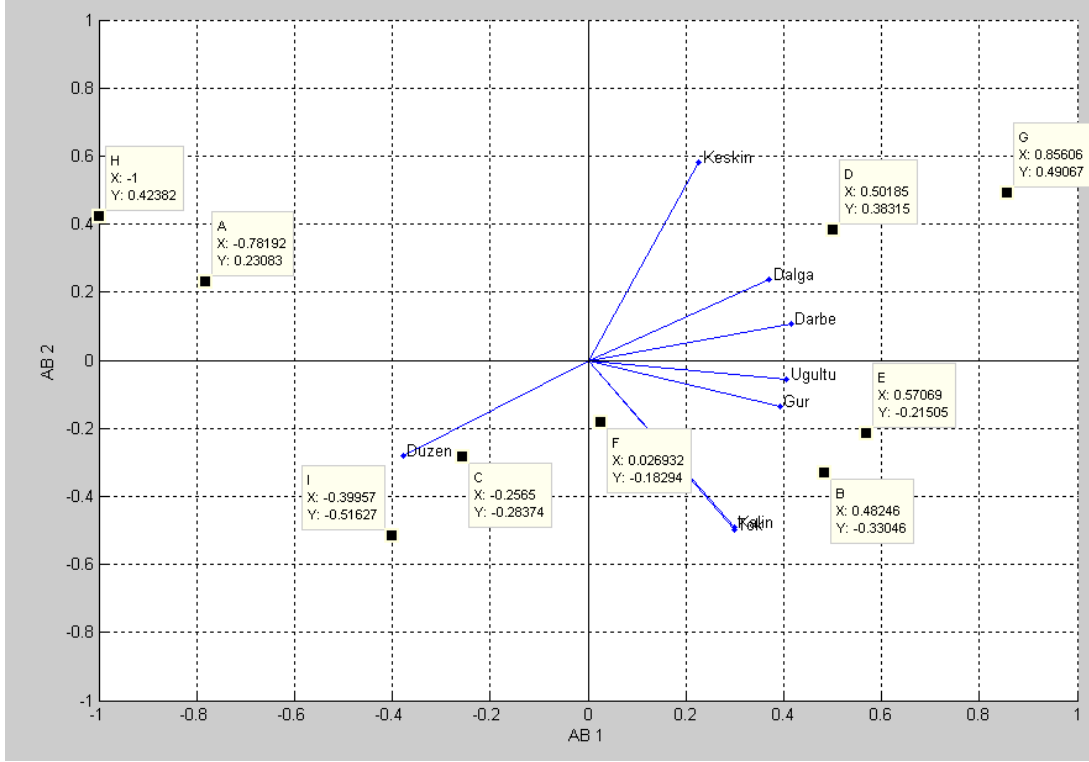
	AB 1	AB 2	AB 3	AB 4
A	-0.84	2.46	0.57	0.19
B	-0.54	-1.60	0.33	0.58
C	-0.43	-0.20	-0.35	0.10
D	-0.69	-0.32	-0.29	-0.29
E	0.12	-0.84	1.02	-0.36
F	-0.43	-0.98	-0.33	-0.15
G	3.77	0.32	0.05	0.04
H	-1.09	0.63	0.01	-0.14
I	0.13	0.52	-1.02	0.03

Çizelge 5.4 : Jüri sıfatlarına ait z-skor matrisi Z_j .

	AB 1	AB 2	AB 3	AB 4	AB 5	AB 6	AB 7	AB 8
A	-2.82	0.83	0.51	-0.35	0.26	-0.11	-0.02	0.05
B	1.74	-1.19	1.27	-0.25	-0.16	0.05	0.03	-0.03
C	-0.93	-1.03	0.20	0.42	-0.10	0.19	-0.02	0.07
D	1.81	1.38	-0.45	-0.21	0.05	0.34	-0.07	-0.02
E	2.06	-0.78	0.08	0.36	0.36	-0.13	-0.04	-0.03
F	0.10	-0.66	-0.76	-0.11	0.11	0.07	0.15	0.01
G	3.09	1.77	-0.17	0.06	-0.21	-0.26	0.01	0.03
H	-3.61	1.53	0.15	0.28	-0.13	0.00	0.03	-0.06
I	-1.44	-1.87	-0.84	-0.21	-0.18	-0.15	-0.07	-0.02

Aynı hesaplamalar su alma ve yıkama aşamaları için de yapılmış olup, MATLAB programı içerisindeki grafik araçlarından “biplot” kullanılarak elde edilen grafikler vasıtasıyla yapılan yorumlara aşağıda yer verilmiştir. Biplot grafiklerinin yatay ve dikey eksenleri ana bileşenlerin z-skorlarından oluşur. Grafiğin orijininden çıkan mavi doğrular ABA’dan elde edilen katsayı (özvektör) matrisi U ‘ya ait değişkenlerdir. Örneğin Şekil 5.10’daki grafik jüri testi sonuçlarına ilişkin olduğu için sözkonusu katsayılar jüri testi sıfatlarıdır. Grafikte bir sığata ait mavi doğruyun konumu, bu sıfatın iki ana bileşene ne derece katkıda bulunduğunun göstergesidir. Test örneklerinin z-skor değeri noktalarla ifade edilmiştir ve herbirinin yanındaki kutucukta ait olduğu çamaşır makinası örneğinin harf kodu bulunmaktadır. Bir makinanın (test örneğinin) grafikteki konumu, bir sığata ait mavi doğruya izdüşümünde ne kadar büyük değeri almışsa, bu test örneğinin o sıfatla o kadar ilişkili olduğu söylenebilir.

İlk iki ana bileşen açısından bakıldığında, Şekil 5.10’daki grafikte “düzen” ve dalga” sıfatlarına ait doğruların birbirlerine ters istikamette olduğu görülmektedir. Bu iki sıfat birbirlerine zıt manada sıfatlar olduğu için bu yerleşim şekli beklenen bir olgudur ve testin güvenilirliğinin bir işaretidir. Benzer şekilde birbirleriyle anlamsal olarak yakınlık gösteren “dalga” ve darbe” sıfatlarına ait doğrular birbirlerine çok yakın olup, “kalınlık” ve “tokluk” ise grafikte adeta üstüste görülmektedir. Diğer bir taraftan, “keskinlik” ve “kalınlık” birbirlerine zıt sıfatlar olmayıp, bir sese ait belirleyici özellikler arasında aynı anda bulunabilirler. Şekil 5.10’da bu iki sıfatın neredeyse birbirlerine dik doğrular halinde yerleşmiş olmaları, jüri testimizde bu iki sıfat arasında doğrusal bir ilişki bulunmadığını doğrular niteliktedir.



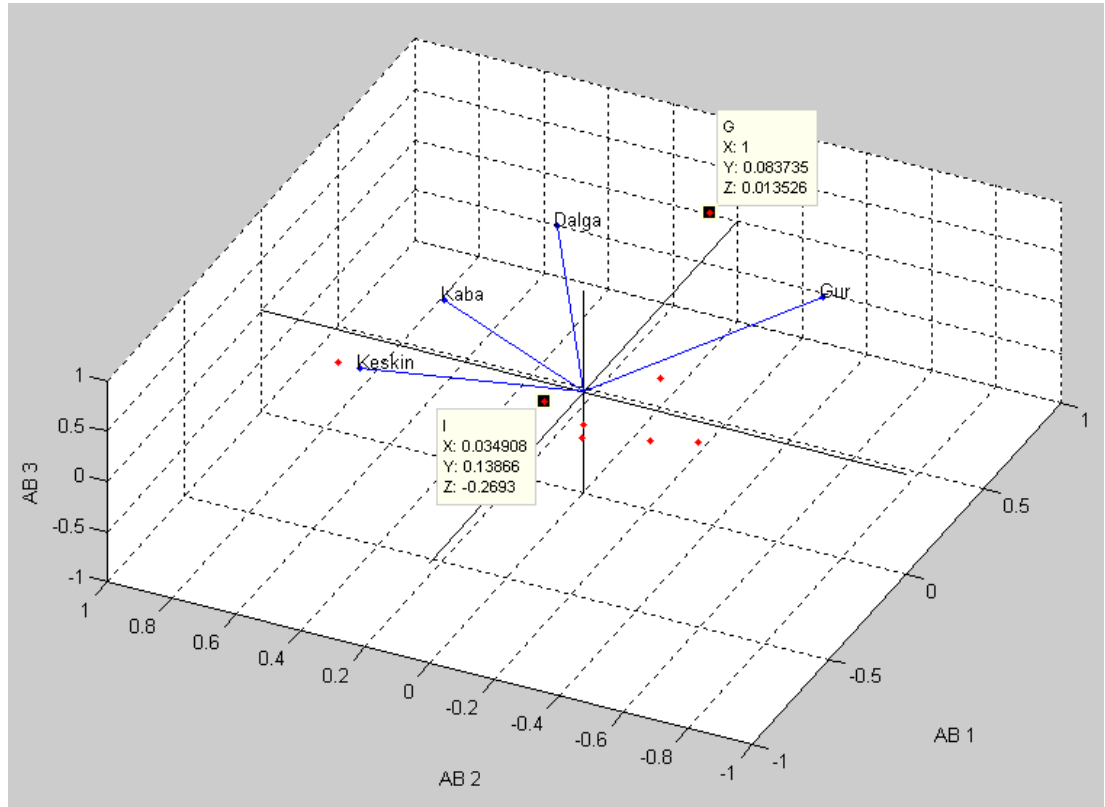
Şekil 5.10 : Sıkma aşamasına ilişkin jüri testine ait ilk iki ana bileşenin biplot diyagramı.

Şekil 5.10’u yorumlayacak olursak, sekiz jüri sıfatından “düzen” hariç diğer hepsinin AB 1’e pozitif yönde katkıda bulunduğunu görürüz, çünkü bu sıfatlara ait doğruların yatay izdüşümleri AB 1 ekseninin pozitif kısmında yer almaktadır. Her bir sıfat ana bileşenlere farklı katsayılarla katkıda bulunmaktadır. Bölüm 5.1’deki zorlanmış seçim ve anlamsal fark testi sonuçlarından bildiğimiz üzere sıkma aşamasında jüri tarafından en az tercih edilen ses G makinasına ait, en çok tercih edilen ise I makinasına ait sestir. Şekil 5.10’u bu bilgi ışığında inceleyecek olursak, en çok tercih edilen I makinasına ait olan noktanın “düzen”i ifade eden doğru istikametinde bulunduğu görülmektedir. Ayrıca bu konum, “keskinliği”, “dalgayı” ve “darbeyi” ifade eden doğruların ters istikametindedir. Buradan şu sonuca varılabilir: Düzenli olup; keskin, darbeli ve dalgalı olmayan bir sıkma sesi kulağa hoş gelmektedir.

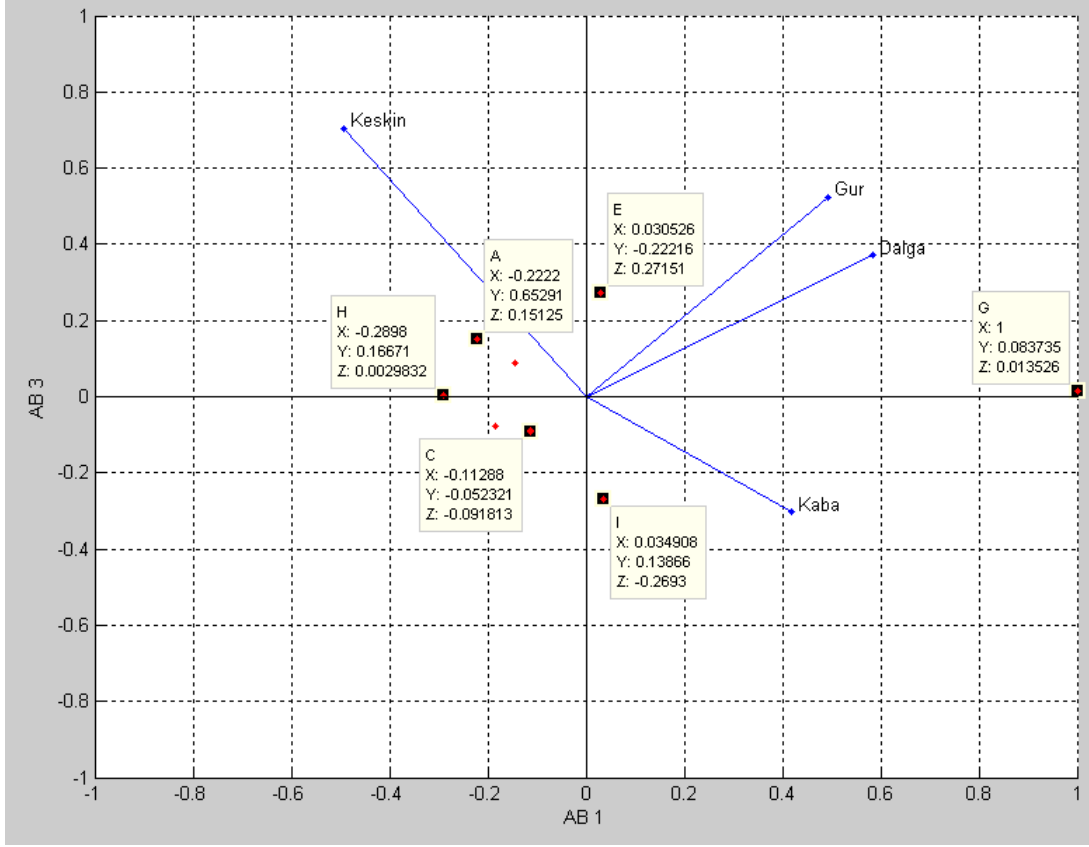
I makinasının sıkma sesinin C makinasının sıkma sesinin yüksek frekanslı bir bileşeninin ortadan kaldırılmasıyla elde edilmiş olduğunu bilmekteyiz. Yüksek frekanslı bileşenin varlığı sesin daha keskin algılanmasına sebebiyet verecektir. Kezâ, Şekil 5.10’da örneklerin “keskinlik” doğrusuna göre izdüşümüne bakacak olursak, C makinasının konumu itibariyle I makinasına göre daha keskin olarak algılandığı görülmektedir.

Jüri testi kapsamında sıkma sesi açısından tercih miktarı en düşük seviyede olan G makinasını grafikte temsil eden nokta “keskinlik”, “dalgalılık”, “darbelilik”, “uğultululuk” ve “gürlük” sıfatlarına ait doğruların izdüşümü açısından en yüksek değerlere sahip olarak grafikte yerini almıştır.

Metrikler açısından inceleyecek olursak Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’deki grafikler elde edilir. Şekil 5.11 ilk üç ana bileşen esas alınarak oluşturulmuş olup üç boyutludur. Şekil 5.12 ise AB 1 ve AB 3 ‘ün birbirlerine göre çizdirilmesinden elde edilmiştir. Bu grafiklerde jüri testi grafiklerinden elde edilen sonuçlarla örtüşecek şekilde G makinasının diğer makinalardan ayrı bir konumda olduğu ve “gürlük” ve “dalgalanma şiddeti” metriklerine ait doğruların izdüşümünde yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. C makinasının “keskinlik” değerinin I makinasına göre daha fazla olduğu, jüri testinde gözlemlendiği gibi burada da ortaya çıkmaktadır.

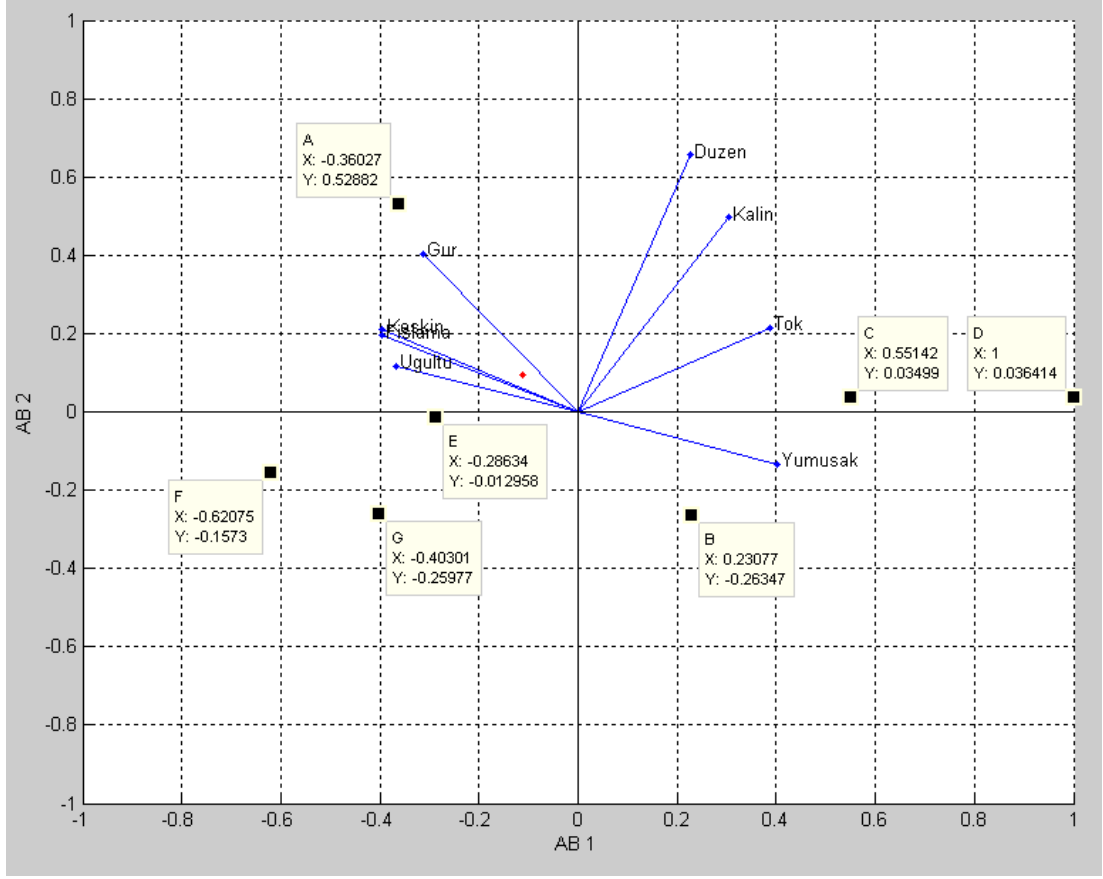


Şekil 5.11 : Sıkma aşamasına ilişkin jüri testine ait ilk üç ana bileşenin biplot diyagramı.



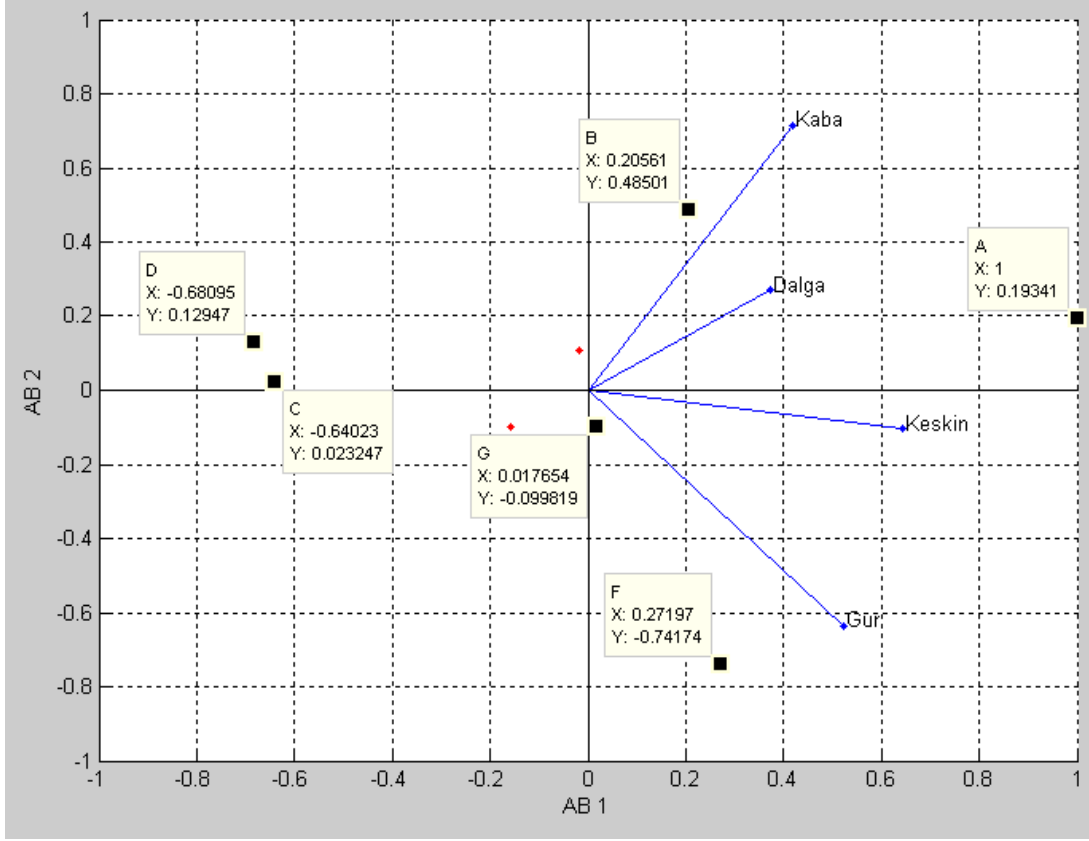
Şekil 5.12 : Sıkma aşamasına ilişkin metriklerle ait birinci ve üçüncü ana bileşenin biplot diyagramı.

Su alma aşamasına ait “biplot” diyagramları Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’te verilmiştir. Jüri testi sonuçlarını gösteren Şekil 5.13’te, su alma aşamasında en yüksek tercih miktarına sahip olan B, C ve D makinaları, yumuşaklık, kalınlık ve tokluk sıfatlarına ait doğruların izdüşümünde en yüksek değerleri almışlardır. Su alma sesi tercih edilmeyen makinalar olan A, F ve G ise gürlük, keskinlik ve uğultu sıfatları ile ilişkili görülmektedir. Dolayısıyla, su alma aşamasında tok ve yumuşak seslerin tercih edildiği sonucuna varılmaktadır.



Şekil 5.13 : Su alma aşamasına ilişkin jüri testine ait ilk iki ana bileşenin biplot diyagramı.

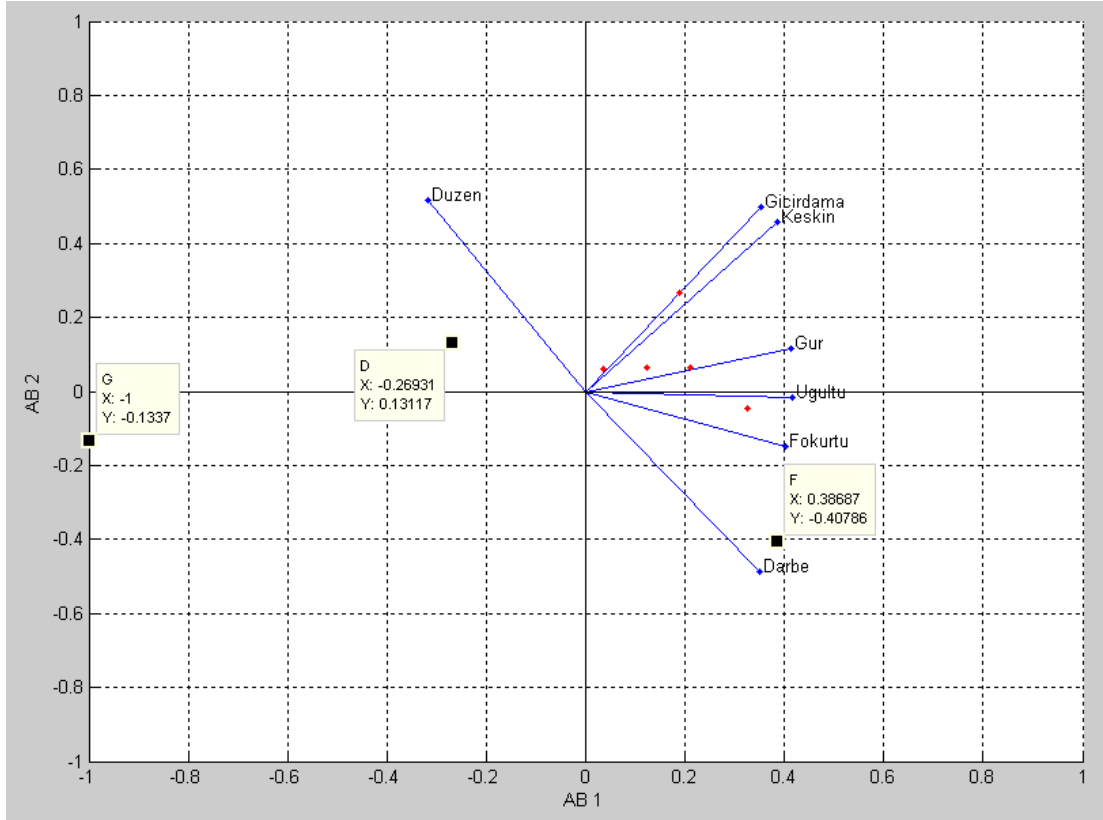
Metriklerin analizi yoluyla elde edilen Şekil 5.14'teki biplot diyagramına bakılacak olursa grafiğin gürlük ve keskinlik ile ilişkili sağ alt kısmında tercih edilmeyen seslerin, sol üst kısmında ise tercih edilen seslerin yayıldığı görülmektedir.



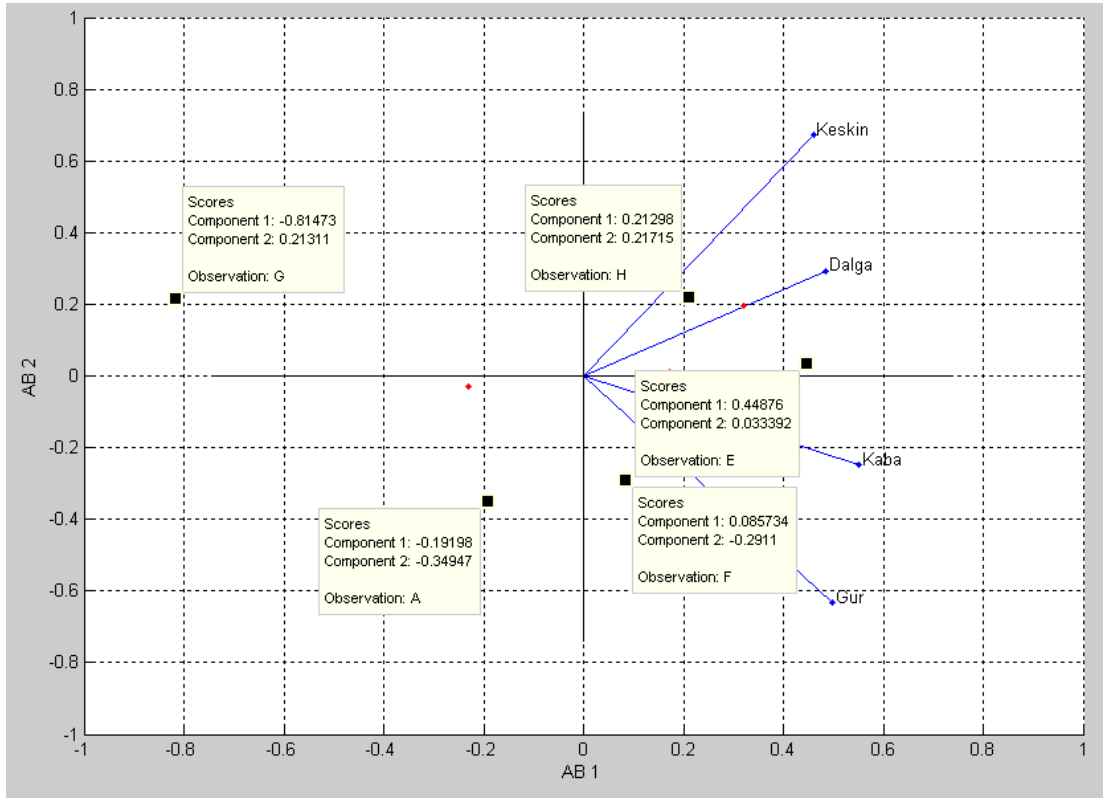
Şekil 5.14 : Su alma aşamasına ilişkin metrikler için ilk iki ana bileşenin biplot diyagramı.

Yıkama aşamasına ait jüri testi sonuçlarından elde edilen “biplot” diyagramında (Şekil 5.15), jüri tarafından tercih edilen G ve D seslerinin “düzen” sıfatını ifade eden doğrunun izdüşümü açısından pozitif bölgede kaldıkları, yıkama açısından olumsuz olan tüm diğer sıfatları temsil eden doğrularla da ters istikamette buldukları görülmektedir. Yıkama aşamasında en düşük tercih miktarına sahip ses olan F’nin darbe ve fokurtu sıfatları ile aynı doğrultuda olması, bu sıfatların tercih miktarı ile ilgili belirleyici bir negatif etkisi olduğunu göstermektedir.

Metrikler açısından bakıldığında (Şekil 5.16), az tercih edilen A, E, F ve H makinalarının kabalık ve gürlük ile ilişkili olduğu, tercih edilen G makinasının yıkama sesinin ise tüm metrikler ters istikamette yer aldığı görülmektedir.



Şekil 5.15 : Yıkama aşamasına ilişkin jüri testine ait ilk iki ana bileşenin biplot diyagramı.



Şekil 5.16 : Yıkama aşamasına ilişkin metriklere ait ilk iki ana bileşenin biplot diyagramı.

5.4 Nesnel ve Öznel Verilerin İlişkilendirmesi

Bu bölümde, doğrusal regresyon metodu kullanılarak, jüri testinden elde edilen “tercih miktarı” parametresinin nesnel metriklerden elde edilebilmesi için bir regresyon katsayıları matrisi bulunması amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda esas değişkenler ile ve ana bileşenler ile regresyon yöntemleri izlenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca regresyon modelinin tutarlılığının testi yapılmış, ses kaydı yapılan yeni makinaların tercih miktarını ne ölçüde tahmin edebildiği sınanmıştır.

5.4.1 Doğrusal regresyon

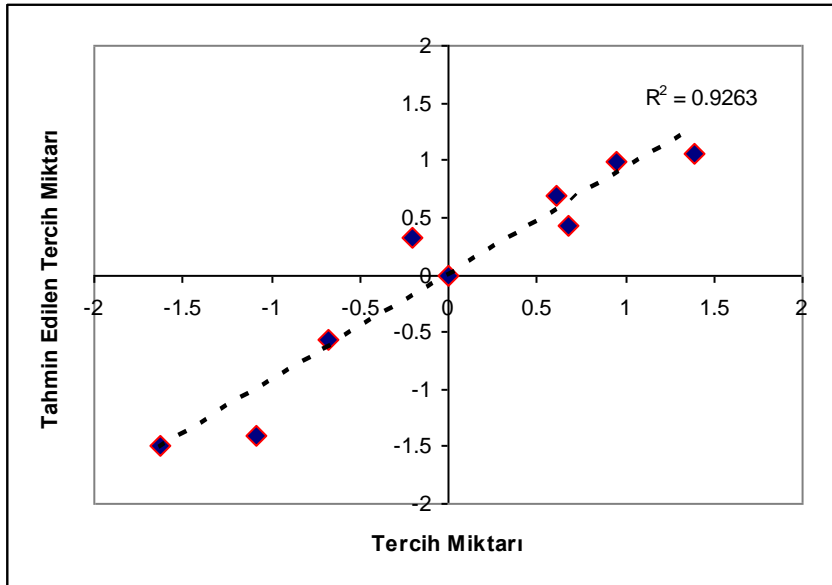
(3.4) denklemini amacımız doğrultusunda tekrar yazacak olursak;

$$\mathbf{T} = \mathbf{X}_m \mathbf{B}_T \quad (5.1)$$

\mathbf{T} , Bölüm 5.2.1 ‘deki zorlanmış seçim testinden elde edilen tercih miktarı vektörünü, \mathbf{B}_T ise regresyon katsayıları vektörünü simgelemektedir.

(3.5) denklemini kullanarak \mathbf{B}_T regresyon katsayıları vektörünü hesaplayıp, \mathbf{T}_i , tahmin edilen tercih miktarı; \mathbf{X}_i ($i=1,2,\dots,4$), \mathbf{X}_m ‘in sütun vektörleri olmak üzere, tahmin eşitliğini aşağıdaki gibi yazabiliriz (5.2):

$$\mathbf{T}_i = -0.732 \mathbf{X}_1 + 0.543 \mathbf{X}_2 - 0.609 \mathbf{X}_3 - 0.132 \mathbf{X}_4 \quad (5.2)$$



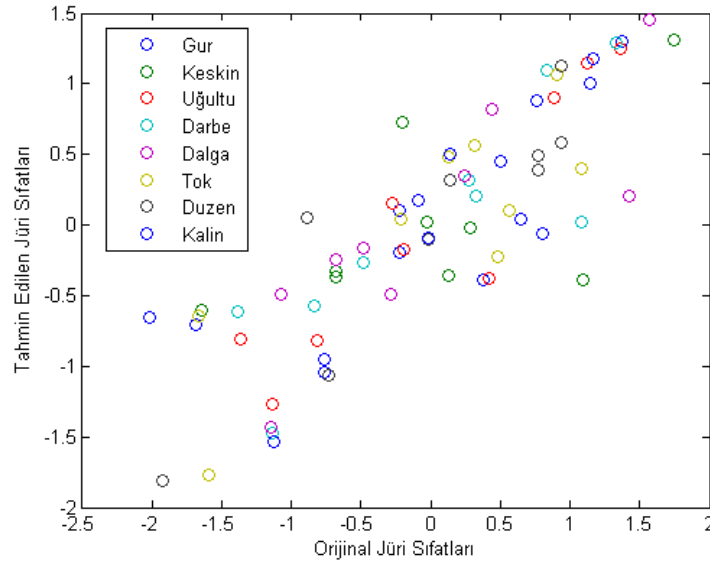
Şekil 5.17 : Zorlanmış seçim testinden elde edilen tercih miktarının, regresyon ile tahmin edilen tercih miktarına göre gösterimi ($R^2=0.9263$).

\mathbf{T} vektörünü \mathbf{T}_t 'ye göre çizdirirdiğimizde, tahmin başarısının $R^2=0.9263$ (Pearson) olduğu görülmektedir (Şekil 5.17).

(5.1) denklemini tüm jüri sıfatları için uygulamak istersek, benzer şekilde (5.3) denklemini yazabiliriz.

$$\mathbf{X}_j = \mathbf{X}_m \mathbf{B} \quad (5.3)$$

Burada \mathbf{B} , (4x8) boyutlu bir matris olup, tüm metriklerden tüm jüri değişkenlerini tahmin etmek için kullanılan regresyon matrisidir. (5.3) denkleminde \mathbf{B} 'yi çözüp \mathbf{X}_m ile çarparak elde ettiğimiz tahmin değişkenlerini orijinal değişkenlere (\mathbf{X}_j) göre Şekil 5.18'deki grafikte çizdirelim. Tahmin başarısının $R^2=0.6935$ olduğu görülmektedir.



Şekil 5.18 : Orijinal jüri sıfatları ile tahmin edilen jüri sıfatlarının karşılaştırmalı gösterimi ($R^2=0.6935$).

5.4.2 Ana bileşenlerle regresyon

(5.1) denkleminde orijinal değişkenlerin yerine ana bileşenleri koyarak regresyon yaparsak buna Ana Bileşenler Regresyonu denir.

$$\mathbf{T} = \mathbf{Z}_m \mathbf{B}_{TZ} \quad (5.4)$$

Burada \mathbf{B}_{TZ} ana bileşen regresyon katsayıları matrisidir.

Daha önce de belirtildiği gibi ABA yönteminin getirisi, çok değişkenli bir yapıyı, veriyi yüksek oranda temsil edebilecek daha az değişkenle ifade etme imkanı sağlamasıdır. İlk iki bileşen, yani \mathbf{Z}_m matrisinin ilk iki sütunu kullanılarak (5.4) denklemi yardımıyla AB regresyonu yapılacak olursa tahmin başarı oranı $R^2=0.6519$ olmaktadır.

5.4.3 Modelin sınanması

Modeli sınamaya amaçlı olarak, metrik değişken matrisi \mathbf{X}_m 'deki 9 adet ses örneği satırından biri çıkartılıp, regresyon katsayıları kalan 8 örnekle hesaplanmış ve elde edilen regresyon katsayıları matrisi, 9 örnekli esas metrik değişken matrisiyle çarpılarak “tercih miktarı”nın tahmini yoluna gidilmiştir. Bu tahmin sonucu elde edilen “tercih miktarı” vektörü, zorlanmış seçim testi sonucu elde edilen gerçek “tercih miktarı” vektörü ile karşılaştırılarak, tahmin modelinden çıkarılan örneğin ses kalitesinin ne derece başarıyla tahmin edildiği irdelenmiştir.

(5.1) denklemini, I ses örneğini dışarıda bırakarak yazacak olursak (5.5);

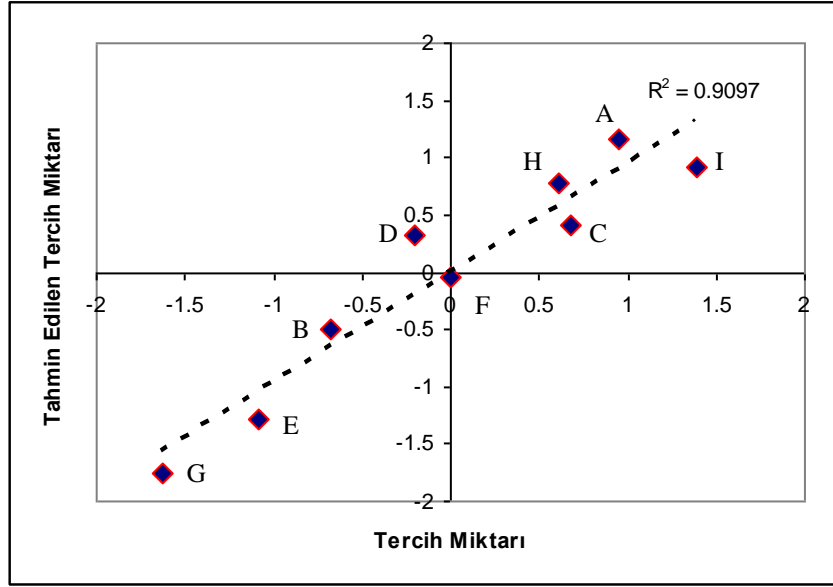
$$\mathbf{T}_{y(8 \times 1)} = \mathbf{X}_{my(8 \times 4)} \mathbf{B}_{Ty(4 \times 1)} \quad (5.5)$$

Burada \mathbf{T}_y , zorlanmış seçim testinden elde edilen tercih miktarı vektörü \mathbf{T} 'nin ilk 8 elemanından müteşekkil vektör; \mathbf{X}_{my} , 8 örneğe ait metrik değişkenleri matrisi, \mathbf{B}_{Ty} ise yeni regresyon vektörümüzdür. \mathbf{T}_y ve \mathbf{X}_{my} yeniden merkezlenerek birim varyanslı hale getirilmiş sütunlara sahiptirler.

(3.5) denklemini kullanarak \mathbf{B}_{Ty} hesaplanır. \mathbf{B}_{Ty} regresyon katsayıları vektörü, orijinal tahmin değişkenleri olan $\mathbf{X}_m(9 \times 4)$ metrik değişkenleri matrisiyle çarpılarak (9x1) boyutlu “tercih miktarı” matrisi elde edilir (5.6);

$$\mathbf{T}_{yt(9 \times 1)} = \mathbf{X}_m(9 \times 4) \mathbf{B}_{Ty(4 \times 1)} \quad (5.5)$$

Orijinal tercih miktarı matrisi \mathbf{T} ile, yukarıdaki modelimizden tahmin edilen \mathbf{T}_{yt} matrisinin karşılaştırmalı gösterimi Şekil 5.19'daki grafikte görülmektedir. Tahmin başarı oranı $R^2=0.9097$ şeklindedir.



Şekil 5.19 : Zorlanmış seçim testinden elde edilen tercih miktarının (yatay eksen), 8 örnekle elde edilen model yardımı ile tahmin edilen tercih miktarına (düşey eksen) göre gösterimi ($R^2=0.9097$).

I makinasının “tercih miktarı”nın regresyon modeliyle oldukça başarılı bir şekilde tahmin edildiği görülmektedir.

5.5 Amortisör Etkisinin Değerlendirilmesi

Bu çalışma kapsamında ulaşılması hedeflenen sonuçlardan birisi olan, çamaşır makinası kazanının amortisörüne ait sönüm değerinin ses kalitesini ne şekilde etkilediğinin belirlenmesi hususu aşağıda ele alınmıştır.

Değerlendirme için farklı sönüm değerlerini haiz iki amortisör seçilmiş ve bir çamaşır makinasına sırayla bağlanarak sıkma aşamasında maksimum devirdeki ses kayıtları alınmıştır. Kayıtlar, bu çalışma kapsamında ses kalitesi değerlendirilen sekiz adet çamaşır makinası ile aynı ortamda ve aynı koşullarda yapılmıştır.

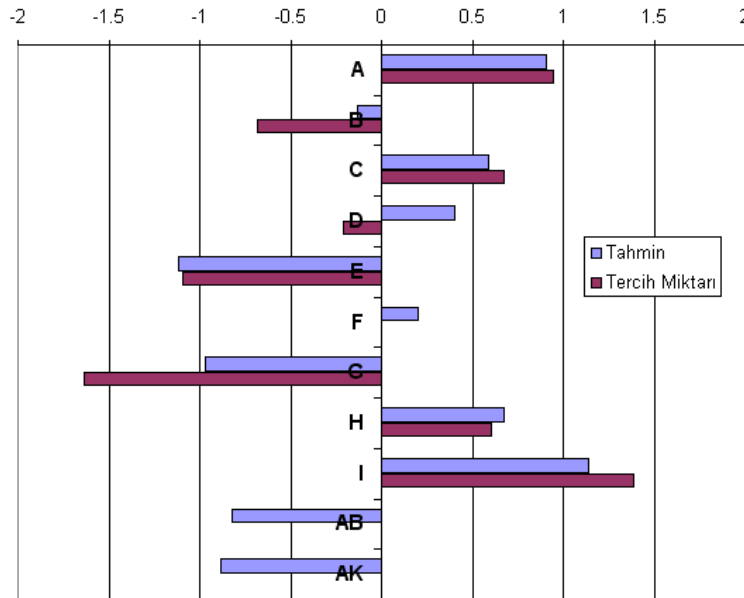
Seçilen makinanın sıkma aşamasındaki maksimum devir hızı 1200 dev/dak (20 Hz) şeklindedir. Deney için seçilen amortisörler AK ve AB tip amortisörlerdir. Bölüm 4.2’deki amortisör testinden elde edildiği üzere bu amortisörlerin 20 Hz’teki sönüm enerjisi değerleri sırasıyla 487.8 Nmm ve 412.1 Nmm şeklindedir.

Seçilen iki farklı tip amortisörle yapılan testler sırasında, makinanın sıkma aşamasında maksimum devirde alınan 5 saniyelik çift kulaklı ses kayıtlarının ses kalitesi yazılımında değerlendirilerek elde edilen nesnel ses kalitesi metrikleri Çizelge 5.5'teki gibi belirlenmiştir.

Çizelge 5.5 : İki farklı amortisörle yapılan test sonucu elde edilen ses kalitesi metrikleri.

	Kullanılan Amortisör	
	AB	AK
Gürlük	22.00	18.80
Kabalık	0.50	0.46
Dalg. Şid.	0.96	1.00
Keskinlik	1.53	1.60

Bölüm 5.4.1'de 9 adet ses ile belirlenen \mathbf{B}_T regresyon katsayıları vektörü, yeni iki adet sesin metriklerinin ilavesiyle 11 satırlı hale dönüşen \mathbf{X}_m metrik değişkenleri matrisiyle regresyona tabi tutularak, “tercih miktarı” tahmini yapılmıştır. Şekil 5.20'de orijinal tercih miktarı değerleri ve regresyon modeliyle tahmin edilen tercih miktarı değerleri grafik halinde gösterilmiştir. İlk dokuz ses için tahmin başarı oranı $R^2=0.9134$ şeklindedir.



Şekil 5.20 : İki yeni ses ilave edilerek regresyon.

AB amortisörünün takılı olduğu halde tercih miktarı -0.82, AK amortisörünün takılı olduğu halde ise tercih miktarı -0.88 olmaktadır. Bu sonuç, sönüm değeri daha az olan amortisöre ait sesin tercih miktarının daha fazla olduğunu göstermektedir. Ancak aradaki tercih farkı çok küçük olduğu ve ölçüm-hesap belirsizlikleri göz önüne alındığında, amortisörün ses kalitesine etkisi hususunda, yukarıdaki bulgulardan hareketle kesin bir kaniya varmanın güç olduğu söylenebilir. Diğer yandan, AB ve AK'ya ait seslerin metriklerindeki değişime göz atacak olursak, AB'de gürlük ve kabalık değerlerinin AK'dan yüksek olduğu ancak, AB'nin dalgalanma şiddeti ve keskinlik değerlerinin AK'ninkinden düşük olduğu görülmektedir. Buradan hareketle, bazı metriklerde artış olurken diğerlerinde azalma olmasının, "tercih miktarı"nın aynı kalmasına neden olduğu söylenebilir.

5.6 Genel Değerlendirme ve Öneriler

Çamaşır makinasının ses açısından en rahatsız edici aşaması olan sıkmaya ait ses kalitesinin değerlendirilmesinde, doğrusal regresyon ile yapılan tahminlerin sağlıklı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Ana bileşenlerin analizi yardımıyla elde edilen veriler kullanılarak MATLAB programı vasıtasıyla çizdirilen biplot diyagramlarının, nesnel ve öznel parametrelerin ses kalitesini ne şekilde etkilediğini analiz etmede oldukça yol gösterici bir araç olduğu görülmüştür. Bu grafikler yardımıyla ideal sesli çamaşır makinasının hangi çalışma safhasında hangi niteliklere sahip olması gerektiği belirlenebilmektedir. Hedef sesin belirlenmesinde ve bu sese ulaşabilmek için yapılacak araştırma-geliştirme çalışmalarda bu grafiklerden yararlanılabilecektir.

Çalışma kapsamında, ses kalitesinin öznel değerlendirmesi için gerçekleştirilen anlamsal fark testlerinde kullanılmak üzere, çamaşır makinasının üç farklı çalışma safhası olan su alma, yıkama ve sıkma aşamalarına ait sıfatlar belirlenmiştir. Öznel testlerin sonucunda bu sıfatlardan bazılarının birbiriyle çok yüksek mertebede ilişkili olduğu görülmüştür. İleride çamaşır makinalarıyla ilgili olarak yapılacak çalışmalardaki jüri testi sıfatları seçiminde bu veriler dikkate alınırca, birbiriyle yakından ilişkili sıfatlarda azaltmaya gidilerek zamandan tasarruf edilebilir ve veri kalabalığı önlenerek model basitleştirilebilir.

Bu çalışmanın sonuçları 12 kişilik bir jüriden yararlanılarak elde edilmiştir. Jüri sayısının arttırılması halinde standart sapmayı azaltarak daha güvenilir sonuçlar elde etmek mümkündür. Eğer jüri seçimi, çamaşır makinası üreticisine ait pazarlama, teknik servis gibi departmanların yardımıyla yapılacak olursa, ürünün son kullanıcıya odaklanarak matematik modeli iyileştirmek mümkün olacaktır. Sayıca geniş bir jürinin farklı eğitim düzeylerinde, farklı cinsiyetlerde, farklı milliyetlerde seçilmesi ve bu özelliklerinin de kayıt altına alınarak bir veritabanının oluşturulmasından yararlanılarak yapılacak istatistikî değerlendirmelerle, insanların çamaşır makinasına ait seslerle ilgili algısının cinsiyet vs. gibi parametrelerle ne şekilde değiştiğinin ortaya konmasına yardımcı olacaktır. Bu sayede hedef müşteri grubunun beğenilerine yönelik bir hedef sesin oluşturulması sağlanabilecektir.

Tasarım parametrelerinin ses kaltesine etkisini araştırmak amacıyla, en önemli tasarım parametrelerinden biri olan sönüm faktörünün incelenmesine bu çalışma kapsamında yer verilmiştir. Test imkanlarının kısıtlı olması dolayısıyla iki farklı amortisörün ses kalitesine etkisi incelenmiştir. Amortisör sayısı ve tipi arttırılarak modeli geliştirmek mümkün olacaktır. Ayrıca su alma aşamasına ait sesi etkileyen su jeti profili, yıkama aşamasına ait sesi etkileyen tambur içi karıştırıcı sayısı ve profili gibi tasarım parametreleri de aynı şekilde incelemeye tabi tutulabilir.

Eğer regresyon için tahmin değişkenlerinin sayısı azaltılmak isteniyorsa, yöntem olarak *ana bileşenlerin regresyonu* yerine kısmî *en küçük karelerle regresyon* yönteminin kullanılmasının daha tutarlı sonuçlar vereceği öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **Blauert, J., Jekosch, U.**, 1997. Sound-Quality Evaluation – A Multi-Layered Problem, *Acta acustica*, **83**, 747-753.
- [2] **Zwicker E., Fastl, H.**, 1999. *Psychoacoustics-Facts and Models*. Springer, Berlin.
- [3] **Bodden, M.**, 1997. Instrumentation for Sound Quality Evaluation. *Acta-Acustica*, **83**, 775-783.
- [4] **Beidl, C.V., Stücklschwaiger, W.**, 1997. Application of the AVL-Annoyance Index for Engine Noise Quality Development, *Acta acustica*, **83**, 789-795
- [5] **May, P., Davies, P., Bolton, J.S.**, 1996. Correlations Between Subjective and Objective Evaluations of Refrigerator Noise, *Inter-Noise 96 25th Anniversary Congress*, Liverpool.
- [6] **Sobhi, I.**, 1998. Development of sound quality combination metrics for two different appliances. *Final Thesis*, Engineering College of Copenhagen, Denmark.
- [7] **Altınsoy, E., Kanca, G., Belek, H.T.**, 1999. A Comparative Study on the Sound Quality of Wet-and-Dry Type Vacuum Cleaners, ICVS6.
- [8] **Lyon, R.H.**, 2003. Product Sound Quality – From Perception to Design. *Sound & Vibration Magazine*, March 2003.
- [9] **Turkdogru, N., Belek, H. T.**, 2003. The Principle Components Analysis in Sound Quality Design: An Application for Hair Dryers. *10th International Congress on Sound and Vibration*, Stockholm.
- [10] **Turkdogru, N., Belek, H. T.**, 2003. Artificial Neural Networks in Sound Quality Design: An Application for Hair Dryers. The 32nd International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, *Internoise 2003*, Jeju, Seogwipo, KOREA.
- [11] **Bowen, D.L.**, 2008. Correlating Sound Quality Metrics and Jury Ratings. *Sound & Vibration Magazine*, September 2008.
- [12] **Bayraktar, F., Belek, H.T.**, 2006. Çamaşır Makinası Dinamik Davranışının Deneysel ve Teorik İncelenmesi, *İTÜ Dergisi*, Seri D, Cilt 5, Sayı 2.
- [13] **Jackson, J.E.**, 1991. *A User's Guide to Principal Components*. John Wiley & Sons, New York, USA.
- [14] **Jolliffe, I.T.**, 2002. *Principal Components Analysis*. Springer, New York, USA.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Bahadır Emre Orhon
Doğum Yeri ve Tarihi: İSTANBUL 30.09.1978
Adres: Küçükağa Sok. Güngör Ap. No: 6/3 Suadiye
İSTANBUL
Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi Makina Mühendisliği

Yayın Listesi:

- ORHON, B.E., BELEK, H.T., (2007), Vibration Analysis on a Cement Mill Foundation, Internoise 2007, İstanbul.
- ORHON, B.E., (2004), Pisagor Ses Sisteminde Fraktal Yapı, 7. Ulusal Akustik Kongresi, Nevşehir.
- AKGÜL A., ORHON B.E., BELEK H.T., (2003), Elektrik Motorlarında Kalkış-Duruş Esnasında Yapılan Titreşim Ölçümleri ile Arızaların Tanılanması, Bakım Teknolojileri Kongre ve Sergisi, Denizli.
- KARADAĞ, V., ORHON, B.E., (2000), Vibrations and Impulsive Response of Thick Manipulators With Damping, ETCE2000/ER-10206, ASME, ETCE/OMAE 2000 Joint Conference, New Orleans, Louisiana, ABD.