

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAVALİMANI GÜRÜLTÜ HARİTALARININ HAZIRLANMASI: İSTANBUL  
SABİHA GÖKÇEN ULUSLARARASI HAVALİMANI ÖRNEĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Oya KESKİN**

**Mimarlık Anabilim Dalı**

**Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojileri Programı**

**MAYIS 2014**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAVALİMANI GÜRÜLTÜ HARİTALARININ HAZIRLANMASI: İSTANBUL  
SABİHA GÖKÇEN ULUSLARARASI HAVALİMANI ÖRNEĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Oya KESKİN  
(502111513)**

**Mimarlık Anabilim Dalı**

**Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojileri Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sevtap YILMAZ**

**MAYIS 2014**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 502111513 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Oya KESKİN**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**HAVALİMANI GÜRÜLTÜ HARİTALARININ HAZIRLANMASI: İSTANBUL SABİHA GÖKÇEN ULUSLARARASI HAVALİMANI ÖRNEĞİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Prof. Dr. Sevtap YILMAZ** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Prof. Dr. Neşe YÜĞRÜK AKDAĞ** .....  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Yrd. Doç. Dr. Nurgün TAMER BEYAZIT** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi :** **05 Mayıs 2014**  
**Savunma Tarihi :** **28 Mayıs 2014**



## **ÖNSÖZ**

Çalışma süresince bilgisi ve yardımlarıyla beni daima destekleyen, üzerimde sonsuz emeği olan değerli hocam Prof. Dr. Sevtap YILMAZ'a, teknik ve manevi anlamda desteklerini esirgemeyen İTÜ Mimarlık Fakültesi asistanlarından sevgili hocam Arş.Gör. Mine Aşçıgil Dinçer'e, SoundPlan konusunda yardım ve destek sağlayan Sayın Ali Akdağ'a, veri toplama sürecinde yardımcı olan TAI Uçuş ve Uçuş Testleri Başkanı Emekli Albay Cemal Nadir Sayın, TAI Uçuş Yönlendirme Lideri Murat Karaderili ve HEAŞ'ta görev yapan Tuğba Baysal'a ve manevi destekleriyle her daim yanımda olan kardeşim T. Baturalp Keskin, sevgili ailem ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Mayıs 2014

Oya KESKİN  
(Mimar)





## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>vii</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>xv</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>xxi</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xxv</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....	2
1.2 Çalışma Alanı .....	3
<b>2. HAVALİMANI GÜRÜLTÜSÜNÜN YAYILMASI VE İNSANLAR ÜZERİNE ETKİLERİ</b> .....	<b>5</b>
2.1 Gürültü Kaynağı Olarak Uçak Gürültüsünün İncelenmesi .....	5
2.1.1 Uçak yapısına bağlı faktörlerin ele alınması .....	5
2.1.1.1 Kaynağın ürettiği gürültü türleri .....	5
2.1.1.2 Uçak tipleri .....	10
2.1.2 Bir gürültü kaynağı olarak uçağın akustik özellikler açısından incelenmesi .....	11
2.1.2.1 Frekans spektrumu .....	12
2.1.2.2 Yönelim özellikleri .....	15
2.1.2.3 Uçak gürültüsünün zamana göre değişimi .....	19
2.1.2.4 Uçağın akustik gücü .....	24
2.1.3 Havalimanı trafik özellikleri .....	24
2.2 Havalimanı Gürültüsünün Yayıldığı Çevrenin Fiziksel Özellikleri.....	25
2.2.1 Uzaklık etkisi .....	25
2.2.2 Havanın yutuculuğu .....	29
2.2.3 Rüzgar ve sıcaklık değişimlerinin etkisi .....	30
2.2.4 Zemin etkisi.....	35
2.2.5 Engel etkisi.....	36
2.3 İşitme Konforunun Uçak Gürültüsü İle İlişkisi ve Yerleşme Bölgesi İçin Geçerli Kriterler / Göstergeler.....	38
2.3.1 İşitme konforunun uçak gürültüsü tarafından etkilenmesi.....	38
2.3.2 Yerleşme bölgesi için gürültü göstergeleri .....	41
2.3.2.1 Ses maruziyet seviyesi (SEL).....	42
2.3.2.2 Toplum eşdeğer gürültü seviyesi (CNEL) .....	44
2.3.2.3 Maksimum ses seviyesi ( $L_{max}$ ) .....	45
2.3.2.4 Eşdeğer gürültü düzeyi ( $L_{eq}$ ) .....	45
2.3.2.5 Gündüz-gece ortalama ses seviyesi (DNL, $L_{den}$ ) .....	46
<b>3. GÜRÜLTÜ KONTROLÜ İLE İLGİLİ ULUSAL VE ULUSLARARASI YÖNETMELİKLER VE HESAPLAMA YÖNTEMLERİ</b> .....	<b>51</b>
3.1 Türkiye'de Gürültü İle İlgili Yönetmelik .....	51
3.1.1 Çevresel gürültü esas ve kriterleri.....	52

3.1.2	Stratejik gürültü haritalama esas ve kriterleri ile eylem planları .....	52
3.1.3	Yönetmelikte geçen gürültü göstergeleri .....	54
3.1.4	Gürültü göstergeleri için değerlendirme yöntemleri .....	55
3.2	Federal Havacılık Yönetmeliği - FAA 150/5020-1 .....	56
3.3	ECAC.CEAC Doc 29 - Sivil Havalimanları Çevresindeki Gürültü	
	Konturlarının Hesaplanması İçin Standart Yöntem Raporu.....	59
3.3.1	Konturların hesaplanması.....	59
3.3.2	Kullanılacak olan uçak gürültü ve performans bilgileri formatı .....	61
3.3.2.1	Gürültü güç mesafe verileri.....	61
3.3.2.2	Performans verisi.....	64
3.3.3	Uçak tiplerinin gruplandırılması .....	66
3.3.3.1	Uçak gruplandırma yaklaşımı .....	66
3.3.3.2	Önerilen uçak gruplaması.....	68
3.3.3.3	Gürültü düzeyi farklılıklarına sebep olan operasyon sayılarının ağırlıklandırılması .....	68
3.3.4	Hesaplama tablosu.....	69
3.3.5	Bireysel uçak hareketinden kaynaklanan gürültü temel hesabı .....	70
3.3.5.1	Uçuş yolu için kısa mesafe tayini.....	70
3.3.5.2	Gürültü-güç-mesafe veri enterpolasyonu .....	70
3.3.5.3	Süre düzeltmesi ( $\Delta V$ ) .....	71
3.3.5.4	Sakin rüzgar koşulları için yanıl zayıflama .....	71
3.3.5.5	Segmentasyon / Simülasyon.....	72
3.3.6	Kalkış ve iniş zemin gürültüsü .....	73
3.3.7	Gürültü seviyelerinin toplanması .....	74
3.3.8	Uçuş yollarının yanıl ve düşey dağılımlarının modellemesi .....	74
3.3.8.1	Standart zemin parçaları arasında yanıl dağılım.....	74
3.3.8.2	Dikey dağılım.....	75
3.3.9	Parça geometrisi için düzeltme ile ses maruziyet düzeyi hesaplama .....	76
3.3.10	Gürültü konturlarının hesaplanması için kılavuz .....	79
3.4	ICAO Doc.9911 - Havaalanlarında Gürültü Kontrolü Hesabı İçin Önerilen	
	Yöntem Raporu .....	80
3.4.1	Yöntem uygulanabilirliği .....	81
3.4.1.1	Segmentleme kavramı .....	81
3.4.1.2	Uçuş yolları: parçalar (tracks) ve profiller .....	82
3.4.1.3	Havalimanı ve uçak operasyonları .....	83
3.4.1.4	Uluslararası uçak gürültü performansı (ANP) veritabanı .....	85
3.4.2	Uçuş yolu tanımı .....	86
3.4.3	Tek bir olay için gürültü hesabı.....	87
3.4.3.1	Tek olay ölçütleri .....	87
3.4.3.2	NPD verilerinin etkinlik düzeylerinin belirlenmesi .....	88
3.4.3.3	Segment etkinlik düzeyi, $L_{seg}$ ve etkinlik gürültü seviyesi, $L$ .....	89
3.4.3.4	Uçuş yolu segmenti parametreleri.....	90
3.4.3.5	Segment etkinliği seviye düzeltme koşulları.....	93
3.4.4	Kümülatif düzeylerin hesaplanması .....	100
3.4.4.1	Ağırlıklı eşdeğer ses seviyeleri .....	101
3.4.4.2	Faaliyet ağırlıklı sayısı .....	102
3.4.4.3	Kümülatif maksimum seviye bazı ölçütlerin tahmini .....	102
3.4.4.4	Maksimum seviye ölçütleri için seviye dağılımları .....	104
3.4.5	Gürültü konturlarının hesaplanması .....	105
3.4.5.1	Standart ızgara hesaplama ve ayrıntılandırma .....	105

3.4.5.2 Kontur takibi .....	106
3.4.5.3 İşlem sonrası (post-processing).....	107
<b>4. TÜRKİYE, AVRUPA, AMERİKA BİRLEŞİK DEVLETLERİ VE DİĞER BAZI ÜLKELERDE BULUNAN HAVALİMANLARININ GÜRÜLTÜ HARİTALAMA ÖRNEKLERİNİN İNCELENMESİ .....</b>	<b>109</b>
4.1 Havalimanı Gürültü Haritalama İle İlgili Türkiye'de Yapılan Örnek Çalışmalar .....	109
4.1.1 Atatürk Havalimanı, İstanbul.....	110
4.1.1.1 Metodoloji I, 1979.....	110
4.1.1.2 Metodoloji II, 2013 .....	114
4.1.1.3 Sonuçlar .....	117
4.1.2 Antalya Havalimanı, Antalya.....	121
4.1.3 Ferit Melen Havalimanı, Van.....	125
4.2 Havalimanı Gürültü Haritalama İle İlgili Avrupa'da Yapılan Örnek Çalışmalar .....	128
4.2.1 Catania-Fontanarossa Havalimanı, İtalya .....	129
4.2.2 Göteborg Landvetter Havalimanı, İsveç .....	135
4.2.3 Lizbon Havalimanı, Portekiz .....	140
4.2.4 Heathrow Havalimanı, İngiltere.....	153
4.3 Havalimanı Gürültü Haritalama İle İlgili Amerika'da Yapılan Örnek Çalışmalar.....	162
4.3.1 Oakland Uluslararası Havalimanı, Kaliforniya.....	162
4.3.2 Kendall Tamiami Havalimanı, Miami .....	166
4.4 Havalimanı Gürültü Haritalama İle İlgili Diğer Ülkelerde Yapılan Örnek Çalışmalar.....	169
4.4.1 Imam Khoemini Havalimanı, İran .....	169
4.4.2 Viracopos Uluslararası Havalimanı, Brezilya.....	174
4.4.3 Dalian Havalimanı, Çin.....	177
<b>5. SABİHA GÖKÇEN ULUSLARARASI HAVALİMANI'NIN GÜRÜLTÜ HARİTALARININ HAZIRLANMASI .....</b>	<b>181</b>
5.1 Çalışmanın Yapılan Alan .....	181
5.2 Metodoloji .....	183
5.3 Veri Toplama Süreci .....	184
5.4 Haritalar.....	191
5.5 Değerlendirme .....	220
<b>6. SONUÇ.....</b>	<b>223</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>227</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>231</b>



## **KISALTMALAR**

<b>ÇGDYY</b>	: Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği
<b>DIA</b>	: Dalian International Airport
<b>ECAC</b>	: European Civil Aviation Conference
<b>END</b>	: Environmental Noise Directive
<b>EPA</b>	: Environmental Protection Agency
<b>FAA</b>	: Federal Aviation Administration
<b>HAP</b>	: Viracopos International Airport
<b>ICAO</b>	: International Civil Aviation Organization
<b>IKIA</b>	: Imam Khoemini International Airport
<b>INM</b>	: Integrated Noise Model
<b>İTÜ</b>	: İstanbul Teknik Üniversitesi
<b>MIA</b>	: Miami International Airport
<b>MTOM</b>	: Maximum Take off Weight
<b>SAE</b>	: Society of Automotive Engineers
<b>SPL</b>	: Sound Pressure Level
<b>TMB</b>	: Kendall-Tamiami Airport
<b>WHO</b>	: World's Health Organization



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 2.1 : Ses şiddeti, ses basıncı ve ses gücü bağıntıları (Demirkale, 2007) .....	24
Çizelge 2.2 : Gürültüde bireysel rahatsızlığı etkileyen faktörler (URL, 4) .....	39
Çizelge 2.3 : Gürültülerin sınıflandırılması (Demirkale, 2007) .....	41
Çizelge 2.4 : Farklı kaynakların DNL değerlerinin toplanması (Demirkale, 2007)..	48
Çizelge 3.1 : Havalimanı çevresel gürültü sınır değerleri (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010) .....	53
Çizelge 3.2 : Zayıflatma oranı (ECAC.CEAC Doc.29, 1997).....	63
Çizelge 3.3 : MTOM uçak grupları (ECAC.CEAC Doc.29, 1997).....	67
Çizelge 3.4 : Farklı toprak pistlerde kabul edilecek olan uçağın nominal parça oranı (ECAC.CEAC Doc.29, 1997) .....	76
Çizelge 4.1 : Yeşilköy (Atatürk) Havalimanı'nda max. uçuş sayısını gösteren gün ve saatler (Yılmaz, 1979).....	112
Çizelge 4.2 : Havalimanı sınıfları tablosu (Yılmaz, 1979).....	112
Çizelge 4.3 : Uçak tipleri ve maksimum gürültü düzeyleri (Yılmaz, 1979).....	113
Çizelge 4.4 : Lden (Lgag) ve Ln(Lgece) için hesaplanan ve ölçülen değerler (Özkurt ve diğ., 2013) .....	117
Çizelge 4.5 : Toplam alanlar, konut, nüfus ve gürültüye hassas yapılar için tahmini Lden (Lgag) değerleri (Özkurt ve diğ., 2013).....	118
Çizelge 4.6 : Toplam alanlar, konut, nüfus ve gürültüye hassas yapılar için tahmini Ln (Lgece) değerleri (Özkurt ve diğ., 2013).....	118
Çizelge 4.7 : Antalya Havalimanı etkilenme analizi hesaplama sonuçları (Sarı ve diğ., 2013) .....	124
Çizelge 4.8 : Ferit Melen Havalimanı etkilenme analizi hesaplama sonuçları (Sarı ve diğ., 2013) .....	127
Çizelge 4.9 : <i>b</i> varyasyonları (Ignaccolo, 2000).....	132
Çizelge 4.10: INM ve abaküs yöntemiyle hesaplanan değerler arasındaki farklar (Ignaccolo, 2000) .....	135
Çizelge 4.11: Beş ileri kısıtlama senaryosu için L <sub>Amax</sub> gürültü konturları tarafından belirlenen yüzey alanı (Mitchael ve diğ., 2012).....	139
Çizelge 4.12: Kalkış ve iniş için L <sub>gündüz</sub> değerleri (Medrano, 2012) .....	142
Çizelge 4.13: L <sub>gündüz</sub> iniş için merkez noktası değerleri (Medrano, 2012) .....	143
Çizelge 4.14: L <sub>gündüz</sub> için yeni noktalar (Medrano, 2012).....	144
Çizelge 4.15: L <sub>gündüz</sub> özet gürültü değerleri (Medrano, 2012) .....	146
Çizelge 4.16: L <sub>gündüz</sub> son değerleri (Medrano, 2012).....	147
Çizelge 4.17: Kalkış ve iniş için L <sub>gece</sub> gürültü değerleri (Medrano, 2012).....	148
Çizelge 4.18: L <sub>gece</sub> için yeni değerler (Medrano, 2012).....	148
Çizelge 4.19: L <sub>gece</sub> son değerleri (Medrano, 2012).....	150
Çizelge 4.20: L <sub>gece</sub> gürültü değerleri özeti (Medrano, 2012) .....	152
Çizelge 4.21: L <sub>den</sub> gürültü değerleri özeti (Medrano, 2012).....	152

<b>Çizelge 4.22:</b> $L_{day}$ ( $L_{gündüz}$ ) gürültü konturları etkilediği nüfus yoğunluğu (Lee ve diğ., 2013) .....	154
<b>Çizelge 4.23:</b> $L_e$ ( $L_{akşam}$ ) gürültü konturları etkilediği nüfus yoğunluğu (Lee ve diğ., 2013) .....	154
<b>Çizelge 4.24:</b> $L_n$ ( $L_{gece}$ ) gürültü konturları etkilediği nüfus yoğunluğu (Lee ve diğ., 2013) .....	155
<b>Çizelge 4.25:</b> $L_{den}$ ( $L_{gag}$ ) gürültü konturları etkilediği nüfus yoğunluğu (Lee ve diğ., 2013) .....	155
<b>Çizelge 4.26:</b> $L_{eq,16}$ gürültü konturları etkilediği nüfus yoğunluğu (Lee ve diğ., 2013) .....	155
<b>Çizelge 4.27:</b> 2008 yılı uçuş operasyonları (ESA, 2009) .....	167
<b>Çizelge 4.28:</b> 2008 yılı geçici ve yerel uçuş operasyonları (ESA, 2009) .....	167
<b>Çizelge 4.29:</b> 2008 yılı genel pist kullanımı (ESA, 2009).....	167
<b>Çizelge 4.30:</b> Üç senaryonun karakteristikleri (Sadr ve diğ., 2013).....	170
<b>Çizelge 4.31:</b> Günlük periyot başına uçak operasyonlarının yüzdesi (Sadr ve diğ., 2013).....	171
<b>Çizelge 4.32:</b> Her bir ICAO kodu için operasyon yüzdesi (Sadr ve diğ., 2013) .....	171
<b>Çizelge 4.33:</b> Viracopos Uluslararası Havalimanı lojistik verisi (Bentles ve diğ., 2012).....	175
<b>Çizelge 4.34:</b> Farklı gürültü aralıklarından rahatsız olan insanlar (Bentles ve diğ., 2012).....	176
<b>Çizelge 4.35:</b> Dalian Uluslararası Havalimanı yıllık uçuş ve yolcu sayısı (Yan ve diğ., 2013) .....	178
<b>Çizelge 4.36:</b> 2008 yılının uçak gürültü düzeyini çevreleyen DIA doğrulaması (Yan ve diğ., 2013).....	179
<b>Çizelge 5.1:</b> AzB standardında verilen gruplar ile uçak tiplerinin eşleştirilmesi ....	190
<b>Çizelge 5.2:</b> 2012 yılı Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı kalkış uçuş verileri .....	190
<b>Çizelge 5.3:</b> 2012 yılı ortalama gündüz, akşam ve gece zaman dilimleri için gürültüden etkilenen konut, nüfus, okul ve hastane sayıları .....	193
<b>Çizelge 5.4:</b> Gündüz, akşam ve gece zaman dilimlerinde sınır değerlerini aşan konut, nüfus ve gürültüye hassas yapıların sayısı .....	194
<b>Çizelge 5.5:</b> Sınır değerlerini aşan konut, nüfus ve gürültüye hassas yapıların yüzdeleri .....	220



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

<b>Şekil 1.1</b> : İstanbul ili Pendik ve Tuzla ilçeleri ile Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı .....	3
<b>Şekil 2.1</b> : Çeşitli ses kaynaklarının ürettiği gürültü seviyeleri (United Airlines, 1927) .....	6
<b>Şekil 2.2</b> : Pervane sesi harmonik içeriğini ve bozunma oranını gösteren tipik pervane gürültü spektrumu (Smith, 1989) .....	8
<b>Şekil 2.3</b> : Çevre havasıyla karışan bir subsonik jet; tam olarak geliştirilmiş bir jetin karışma tabakası (URL, 2) .....	9
<b>Şekil 2.4</b> : Şematik turbo fan motoru gürültü kaynakları (URL, 2).....	9
<b>Şekil 2.5</b> : Uçak radyo bant genişliği (URL, 3) .....	12
<b>Şekil 2.6</b> : Bir jet uçağın frekans spektrumu (Yılmaz, 1979) .....	13
<b>Şekil 2.7</b> : İniş yaklaşımındaki turbo fan motor gürültü spektrumu (URL, 2) .....	13
<b>Şekil 2.8</b> : 150m ve 1500m yükseklikteki uçağın gürültü spektrumu (Yılmaz, 1979) .....	14
<b>Şekil 2.9</b> : A ağırlıklı ses düzeyleri ve algılanan gürültü düzeyleri (PNdB) ile ifade edilen jet gürültüsü spektrumları (Yılmaz, 1979) .....	14
<b>Şekil 2.10</b> : 150m uzaklıkta ölçülen gürültü spktrumu (Yılmaz, 1979) .....	15
<b>Şekil 2.11</b> : Bir jet uçağının yöneltim örüntüsü (Yılmaz, 1979) .....	16
<b>Şekil 2.12</b> : Uçak gürültüsünün etkilendiği saha (Yılmaz, 1979).....	16
<b>Şekil 2.13</b> : Uçak gürültü tahmini geometrik modeli (Pietrzko ve Hoffman, 1987) .....	17
<b>Şekil 2.14</b> : Ölçülen gürültü seviyelerine karşılık $M=0.33$ 'te faaliyet gösteren iki turbo fan uçak için $R=305m$ ( $\square$ ), $R=600m$ ( $x$ ) ve $R=1500m$ ( $+$ )'de hesaplanan $L_A$ (dBA) gürültü seviyesi yöneltim modeli (Pietrzko ve Hoffman, 1987) .....	18
<b>Şekil 2.15</b> : $M=0.24$ 'te faaliyet gösteren iki turbo fan uçak için $R=305, 500, 1000, 2000, 3000$ ve $3500m$ 'de $L_A$ (dBA)'nın arsa kutupsal koordinatları modeli (Pietrzko ve Hoffman, 1987) .....	18
<b>Şekil 2.16</b> : $M=0.32$ 'de faaliyet gösteren iki turbo fan uçak için $R=305, 500, 1000, 2000, 3000$ ve $3500m$ 'de $L_A$ (dBA)'nın arsa kutupsal koordinatları modeli (Pietrzko ve Hoffman, 1987) .....	19
<b>Şekil 2.17</b> : Belli açılardaki iniş ve kalkışlar için bir jetin gürültü düzeyi karakteristikleri (Yılmaz, 1979) .....	20
<b>Şekil 2.18</b> : İki değişik mesafe ve hızdaki uçağın zaman içinde ses basınç düzeylerindeki değişiklikler (Yılmaz, 1979).....	21
<b>Şekil 2.19</b> : İki turbo fan uçağın kalkış başlangıcından $4250m$ 'lik uçuş mesafesindeki parçaya, $200m$ yanal mesafede bulunan bir noktada ölçülmüş ( $M$ ) ve simüle edilmiş ( $S$ ) $L_A$ ve SEL karşılaştırması (Pietrzko ve Hoffman, 1987) .....	21

<b>Şekil 2.20</b> : İki turbo fan uçağın kalkış başlangıcından 6800m'lik uçuş mesafesindeki parçaya, 300m yanal mesafede bulunan bir noktada ölçülmüş (M) ve simüle edilmiş (S) LA ve SEL karşılaştırması (Pietrzko ve Hoffman, 1987).....	22
<b>Şekil 2.21</b> : İki turbo jet uçağın kalkış başlangıcından 4900m'lik uçuş mesafesindeki parçaya, 150m yanal mesafede bulunan bir noktada ölçülmüş (M) ve simüle edilmiş (S) LA ve SEL karşılaştırması (Pietrzko ve Hoffman, 1987).....	22
<b>Şekil 2.22</b> : İki turbo jet uçağın kalkış başlangıcından 5080m'lik uçuş mesafesindeki parçaya, 550m yanal mesafede bulunan bir noktada ölçülmüş (M) ve simüle edilmiş (S) LA ve SEL karşılaştırması (Pietrzko ve Hoffman, 1987).....	23
<b>Şekil 2.23</b> : Değişik uçak süratleri ve mesafeleri için üstten uçuş süresindeki değişiklikler (Yılmaz, 1987) .....	23
<b>Şekil 2.24</b> : d uzaklığı ile artan dairesel yüzeylerin oluşturulduğu alana aynı ses enerjileri gönderilmiştir. Ses şiddeti uzaklığı karesi ile ters orantılıdır (Everest, 2001) .....	26
<b>Şekil 2.25</b> : Ses yoğunluğu ile ilgili ters kare kuralı, ses basıncı için ters uzaklık kanununu oluşturuyor. Bunun anlamı, ses basıncı mesafe 2 katına çıktığında, her bir uzaklık için 6dB indirgenir (Everest, 2001) .....	26
<b>Şekil 2.26</b> : Gürültü düzeylerinin belirli gürültü kaynakları için değişkenlikleri (Yılmaz, 1979) .....	27
<b>Şekil 2.27</b> : Maksimum güç modunda bir IL-86 uçağı etrafında yönelme desenleri (referans uzaklığı $R_0=1m$ ). Konturlar 80-150 dB arasında 10 dB aralıklarla belirlenmiştir (Zaporozhets ve diğ., 2011).....	28
<b>Şekil 2.28</b> : Gündüz saatleri atmosferik sınır tabakası ve türbülanslı girdap yapıların şematik sunumu. Soldaki eğriler ortalama rüzgar hızını (U) ve potansiyel sıcaklık profillerini ( $\theta$ ) gösterir (Zaporozhets ve diğ., 2011).....	31
<b>Şekil 2.29</b> : Sıcaklık değişimi nedeniyle sesin kırılması: normal atlamalı hız durumu-sıcaklık yükseklikle azalır (Zaporozhets ve diğ., 2011).....	32
<b>Şekil 2.30</b> : Sıcaklık değişimi nedeniyle sesin kırılması: tersine çevirme durumu-sıcaklık yükseklikle artar (Zaporozhets ve diğ., 2011) .....	32
<b>Şekil 2.31</b> : Nokta kaynaktan çıkan ses ışınlarına rüzgarın etkisi (Zaporozhets ve diğ., 2011) .....	32
<b>Şekil 2.32</b> : Ses yollarının kırılması atmosferdeki sıcaklık değişimi ile olur; (A) sabit sıcaklıkta, (B) soğuk yeryüzü sıcak hava, (C) sıcak yeryüzü soğuk hava (Everest, 2001).....	33
<b>Şekil 2.33</b> : Kaynaktan çıkan sesin toplu kırılması; (A) soğuk hava altta sıcak hava üstte, (B) sıcak hava altta soğuk hava üstte. B'de oluşan ses gölgeleri artan kırılmanın sonucudur (Everest, 2001).....	34
<b>Şekil 2.34</b> : Rüzgar hızındaki artma sesi kıvrır (Everest, 2001).....	35
<b>Şekil 2.35</b> : Girişim olayı (Yılmaz, 1979) .....	36
<b>Şekil 2.36</b> : Sesin ince bariyerde kırılması (URL, 4) .....	37
<b>Şekil 2.37</b> : Ağaçlar vasıtasıyla zayıflatma (Cunniff, 1972).....	38
<b>Şekil 2.38</b> : Rahatsızlık ve toplum gürültü eşdeğer düzeyi-CNEL (URL, 4) .....	40
<b>Şekil 2.39</b> : Tek bir olay gürültü metrikleri (CFR, 2004) .....	42
<b>Şekil 2.40</b> : Gürültü metrikleri (ESA, 2009).....	43
<b>Şekil 2.41</b> : Geçmişteki bir uçak gürültü olayının A ağırlıklı ses basınç seviyesi süresi (More, 2011) .....	43
<b>Şekil 2.42</b> : Zaman için SEL yükselişi (URL, 4).....	44

<b>Şekil 2.43</b> : CNEL gürültü seviyeleri (URL, 4).....	44
<b>Şekil 2.44</b> : Bir banliyöde toplum gürültüsünün değişimi (CFR, 2004).....	45
<b>Şekil 2.45</b> : Bir saatlik olay (Saatlik $L_{eq}$ ) (ESA, 2009).....	46
<b>Şekil 2.46</b> : 24 saatlik olaylar (DNL) (ESA, 2009) .....	47
<b>Şekil 3.1</b> : Uçak gürültü maruziyeti tahmini (FAA 150/5020-1, 1983).....	59
<b>Şekil 3.2</b> : Performans hesaplamaları için tipik uçuş yolu segmenti (ECAC.CEAC Doc.29, 1997).....	64
<b>Şekil 3.3</b> : Küçük ızgara aralığı eğrilerinin çizilmesi için gerekebilecek gürültü indeksi değerlerinin büyük gradyanlara sahip bölgelerini gösteren tipik gürültü konturları (ECAC.CEAC Doc.29, 1997).....	69
<b>Şekil 3.4</b> : Ses seviyesi veya sese maruz kalma düzeyi hesaplaması ve zemin zayıflama hesaplamasında kullanılan farklı mesafeler ve açılarının tanımlanması (ECAC.CEAC Doc.29, 1997).....	70
<b>Şekil 3.5</b> : Gürültü-güç-mesafe eğrileri (ECAC.CEAC Doc.29, 1997) .....	71
<b>Şekil 3.6</b> : Kalkış parçası konturlarının geometrisi (ECAC.CEAC Doc.29, 1997)...	74
<b>Şekil 3.7</b> : 1.Adım SEL hesaplamaları (ECAC.CEAC Doc.29, 1997).....	78
<b>Şekil 3.8</b> : 2.Adım SEL hesaplamaları (ECAC.CEAC Doc.29, 1997).....	78
<b>Şekil 3.9</b> : 3.Adım SEL hesaplamaları (ECAC.CEAC Doc.29, 1997).....	79
<b>Şekil 3.10</b> : Gürültü konturları oluşturma sistemi (ICAO Doc 9911, 2008) .....	81
<b>Şekil 3.11</b> : Gürültü-güç-mesafe eğrilerinin enterpolasyonu (ICAO Doc 9911, 2008) .....	89
<b>Şekil 3.12</b> : Segmentin arkasındaki gözlemcinin uçuş yolu kesimindeki geometrisi (ICAO Doc 9911, 2008).....	92
<b>Şekil 3.13</b> : Segmentin yanındaki gözlemcinin uçuş yolu kesimindeki geometrisi (ICAO Doc 9911, 2008).....	92
<b>Şekil 3.14</b> : Segmentin önündeki gözlemci için uçuş yolu parçasının geometrisi (ICAO Doc 9911, 2008).....	92
<b>Şekil 3.15</b> : Uçuş yolu normal düzleminde uçak-gözlemci açıları (ICAO Doc 9911, 2008) .....	95
<b>Şekil 3.16</b> : Montaj etkilerinin yanal yönelmesi (ICAO Doc 9911, 2008).....	96
<b>Şekil 3.17</b> : Yükseklik açısı ve mesafe ile yanal zayıflama değişimi $\Lambda (\beta, l)$ (ICAO Doc 9911, 2008).....	98
<b>Şekil 3.18</b> : Yönsel düzeltme tahmini için uçak-gözlemci geometrisi (ICAO Doc 9911, 2008) .....	100
<b>Şekil 3.19</b> : Maksimum ses seviyesi dağılımı (ICAO Doc 9911, 2008).....	105
<b>Şekil 3.20</b> : Standart ızgara ve ızgara ayrıştırılması (ICAO Doc 9911, 2008)....	105
<b>Şekil 3.21</b> : Algoritma takip kavramı (ICAO Doc 9911, 2008) .....	106
<b>Şekil 3.22</b> : Takip algoritması için şartları tanımlayan geometrik parametreler (ICAO Doc 9911, 2008).....	107
<b>Şekil 4.1</b> : Tasar Kılavuzu yöntemine göre NEF 30 NEF 40 konturlarının çizimi (Yılmaz, 1979) .....	111
<b>Şekil 4.2</b> : Kalkış gücü ve kalkış ağırlığına göre üretilen ses düzeyi referans uzaklık:300m (Yılmaz, 1979) .....	112
<b>Şekil 4.3</b> : Yeşilköy Havalimanı arka plan gürültüsü (Yılmaz, 1979).....	113
<b>Şekil 4.4</b> : Uçağa 108.8m uzaklıkta frekans spektrumu (Yılmaz, 1979).....	114
<b>Şekil 4.5</b> : Yeşilköy (Atatürk) Havalimanı çevresi ve hesaplama noktaları (Yılmaz, 1979) .....	115

<b>Şekil 4.6</b> : Günlük gürültüden etkilenen nüfusun gürültü konturları (Özkurt ve diğ., 2013).....	120
<b>Şekil 4.7</b> :Gece gürültüsünden etkilenen nüfusun gürültü konturları (Özkurt ve diğ., 2013).....	120
<b>Şekil 4.8</b> : Antalya Havalimanı 5 dBA aralıklı konturlarla hazırlanmış gürültü haritaları (Sarı ve diğ., 2013) .....	123
<b>Şekil 4.9</b> : Ferit Melen Havalimanı 5 dBA aralıklı konturlarla hazırlanmış gürültü haritaları (Sarı ve diğ., 2013).....	126
<b>Şekil 4.10</b> :Catania-Fontanarossa Havalimanı $L_{den}$ konturları (Ignaccolo, 2000) ....	130
<b>Şekil 4.11</b> :Operasyon ve kompozisyon sayısının gürültü çizelgeleri fonksiyonunun yüzey seviyesi (Ignaccolo, 2000).....	131
<b>Şekil 4.12</b> :Şekil 4.11'deki grafiklerin çift logaritmik gösterimi (Ignaccolo, 2000). 133	
<b>Şekil 4.13</b> :Logaritmik gerileme eğrileri ile b varyasyonları (Ignaccolo, 2000) .....	133
<b>Şekil 4.14</b> :55 dBA gürültü abaküsü (Ignaccolo, 2000) .....	134
<b>Şekil 4.15</b> :75 dBA gürültü abaküsü (Ignaccolo, 2000) .....	134
<b>Şekil 4.16</b> :ESGG'de Pist 03'ten yayımlanan güney RNAC SID (Mitchael ve diğ., 2012).....	136
<b>Şekil 4.17</b> :Zemin mesafesinin bir fonksiyonu olarak zemin seviyesinden yüksekliği gösteren hız kısıtlaması senaryoları için profiller ve zemin mesafesinin bir fonksiyonu olarak maksimum A ağırlıklı ses seviyesi (sağda) (Mitchael ve diğ., 2012).....	138
<b>Şekil 4.18</b> :10 NM'de 210 KIAS (solda) ve serbest hız (sağda) senaryoları için $L_{Amax}$ gürültü konturları ile TOPLA 1M. Not: Konturlar 80, 75, 70, 65, 60 ve 55 dBA seviyelerini göstermektedir. SID merkez hattı ve geçiş noktalarının pozisyonlarını gösterir (Mitchael ve diğ., 2012).....	139
<b>Şekil 4.19</b> :10 NM'de 210 KIAS hız senaryosu ile diğer hız kısıtlama senaryosu kontur farkları. Not: Senaryolar arasındaki kontur alanlarında büyüklük değişimi için gölgelendirme tekniği kullanılmıştır. SID merkez hattı ve geçiş noktaları gösterilmiştir (Mitchael ve diğ., 2012) .....	140
<b>Şekil 4.20</b> :Lizbon Havalimanı pist dağılımı (Medrano, 2012).....	141
<b>Şekil 4.21</b> :Kontur hesaplama süreci (Medrano, 2012) .....	142
<b>Şekil 4.22</b> :Merkezi yaklaşım olmadan $L_{gündüz}$ iniş (Medrano, 2012) .....	142
<b>Şekil 4.23</b> : $L_{gündüz}$ iniş değerleri için bir yaklaşım (Medrano, 2012) .....	143
<b>Şekil 4.24</b> :Merkezi yaklaşım ile $L_{gündüz}$ iniş (Medrano, 2012) .....	144
<b>Şekil 4.25</b> : $L_{gündüz}$ kalkış (Medrano, 2012) .....	145
<b>Şekil 4.26</b> :Tam gaz motor için gürültü yöneltim (kırmızı kontur) ve %21.6 motor gücü için gürültü yöneltimi (mavi kontur) (Medrano, 2012).....	145
<b>Şekil 4.27</b> : $L_{gündüz}$ gürültüsü (Medrano, 2012).....	147
<b>Şekil 4.28</b> :Merkezi yaklaşım ile $L_{gece}$ iniş (Medrano, 2012) .....	149
<b>Şekil 4.29</b> : $L_{gece}$ kalkış (Medrano, 2012) .....	149
<b>Şekil 4.30</b> : $L_{gece}$ gürültüsü (Medrano, 2012).....	150
<b>Şekil 4.31</b> : $L_{den}$ gürültü (Medrano, 2012) .....	151
<b>Şekil 4.32</b> :Ölçülen $L_{den}$ gürültü konturları (Medrano, 2012).....	153
<b>Şekil 4.33</b> :Heathrow Havalimanı planı (Lee ve diğ., 2013) .....	156
<b>Şekil 4.34</b> :2011 yılı Heathrow $L_{gündüz}$ konturları (Lee ve diğ., 2013).....	157
<b>Şekil 4.35</b> :2011 yılı Heathrow $L_{akşam}$ konturları (Lee ve diğ., 2013).....	158
<b>Şekil 4.36</b> :2011 yılı Heathrow $L_{gece}$ konturları (Lee ve diğ., 2013).....	159
<b>Şekil 4.37</b> :2011 yılı Heathrow $L_{den}$ konturları (Lee ve diğ., 2013).....	160
<b>Şekil 4.38</b> :2011 yılı Heathrow $L_{eq,16saat}$ konturları (Lee ve diğ., 2013).....	161

<b>Şekil 4.39:</b> Tek bir olay için gürültü konturları Boeing 727 Hushkit, Boeing 737 ve Airbus 320 ailesi çift motorlu jet uçakları için (Oakland Havalimanı, 2006) .....	164
<b>Şekil 4.40:</b> Tek bir olay için gürültü konturları Boeing 767 ve Airbus 320 ailesi geniş gövdeli çift motorlu uçaklar için (Oakland Havalimanı, 2006) .....	164
<b>Şekil 4.41:</b> Oakland Havalimanı 2004 yılı Cnel konturları (Oakland Havalimanı, 2006) .....	165
<b>Şekil 4.42:</b> Oakland Havalimanı 2010 yılı Cnel konturları (Oakland Havalimanı, 2006) .....	165
<b>Şekil 4.43:</b> Oakland Havalimanı 2004 ve 2010 yılları için Cnel konturları (Oakland Havalimanı, 2006).....	166
<b>Şekil 4.44:</b> Uçuş pisti batı akışı (ESA, 2009) .....	168
<b>Şekil 4.45:</b> 2008 yılı DNL konturları (ESA, 2009) .....	168
<b>Şekil 4.46:</b> 2018 yılı DNL konturları (ESA, 2009) .....	169
<b>Şekil 4.47:</b> 2011 yılı için IKIA $L_{den}$ konturları (Sadr ve diğ., 2013).....	172
<b>Şekil 4.48:</b> 2020 yılı için IKIA $L_{den}$ konturları (Sadr ve diğ., 2013).....	172
<b>Şekil 4.49:</b> 2030 yılı için IKIA $L_{den}$ konturları (Sadr ve diğ., 2013).....	173
<b>Şekil 4.50:</b> 2012 senaryosu için ( $L_{den}$ ve $L_{Aeq,akşam}$ ) konut dağılımı (Sadr ve diğ., 2013) .....	173
<b>Şekil 4.51:</b> 2020 senaryosu için ( $L_{den}$ ve $L_{Aeq,akşam}$ ) konut dağılımı (Sadr ve diğ., 2013) .....	173
<b>Şekil 4.52:</b> 2030 senaryosu için ( $L_{den}$ ve $L_{Aeq,akşam}$ ) konut dağılımı (Sadr ve diğ., 2013) .....	174
<b>Şekil 4.53:</b> Viracopos Uluslararası Havalimanı gürültü eğrileri (Bentles ve diğ., 2012) .....	176
<b>Şekil 4.54:</b> Gürültüden rahatsız olan insanların gürültü aralıkları (Bentles ve diğ., 2012) .....	177
<b>Şekil 4.55:</b> Açık deniz havalimanı şematik diyagramı (Yan ve diğ., 2013) .....	177
<b>Şekil 4.56:</b> Gürültü monitör pozisyonları (Yan ve diğ., 2013) .....	180
<b>Şekil 5.1 :</b> Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı uydu fotoğrafı (Google Earth, 2014) .....	181
<b>Şekil 5.2 :</b> Düz (linear) tip apron (Google Earth, 2014) .....	182
<b>Şekil 5.3 :</b> Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı pist 06/24 (Google Earth, 2014) .....	183
<b>Şekil 5.4 :</b> Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı gürültü haritalama çalışma metodolojisi.....	184
<b>Şekil 5.5 :</b> Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı pist konumu ve rüzgar yönleri .....	187
<b>Şekil 5.6 :</b> Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı gürültü haritalama çalışması veri toplama süreci .....	187
<b>Şekil 5.7 :</b> Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı pist 06 yönü 2012 yılı kalkış rotaları .....	188
<b>Şekil 5.8 :</b> Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı pist 24 yönü 2012 yılı kalkış rotaları .....	189
<b>Şekil 5.9 :</b> Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı ve 2012 yılı kalkış $L_{den}$ gürültü konturları .....	192
<b>Şekil 5.10:</b> Haritalandırma alanı ve 2012 yılı kalkış $L_d$ ( $L_{gündüz}$ ) gürültü konturları .....	195
<b>Şekil 5.11:</b> 2012 yılı kalkış $L_d$ ( $L_{gündüz}$ ) gürültü konturları ve tüm yapı tipleri ....	196

<b>Şekil 5.12:</b> 2012 yılı kalkış Ld (Lgündüz) gürültü konturları ve konut yapıları .....	197
<b>Şekil 5.13:</b> 2012 yılı kalkış Ld (Lgündüz) gürültü konturları ve okul yapıları .....	198
<b>Şekil 5.14:</b> 2012 yılı kalkış Ld (Lgündüz) gürültü konturları ve yardımcı yapılar (ticari, resmi, fabrika).....	199
<b>Şekil 5.15:</b> 2012 yılı kalkış Ld (Lgündüz) gürültü konturları ve haritalama alanı sınırları .....	200
<b>Şekil 5.16:</b> Haritalandırma alanı ve 2012 yılı kalkış Le (Lakşam) gürültü konturları .....	202
<b>Şekil 5.17:</b> 2012 yılı kalkış Le (Lakşam) gürültü konturları ve tüm yapı tipleri .....	203
<b>Şekil 5.18:</b> 2012 yılı kalkış Le (Lakşam) gürültü konturları ve konut yapıları .....	204
<b>Şekil 5.19:</b> 2012 yılı kalkış Le (Lakşam) gürültü konturları ve okul yapıları .....	205
<b>Şekil 5.20:</b> 2012 yılı kalkış Le (Lakşam) gürültü konturları ve yardımcı yapılar (ticari, resmi, fabrika).....	206
<b>Şekil 5.21:</b> 2012 yılı kalkış Le (Lakşam) gürültü konturları ve haritalama alanı sınırları .....	207
<b>Şekil 5.22:</b> Haritalandırma alanı ve 2012 yılı kalkış Ln (Lgece) gürültü konturları	209
<b>Şekil 5.23:</b> 2012 yılı kalkış Ln (Lgece) gürültü konturları ve tüm yapı tipleri.....	210
<b>Şekil 5.24:</b> 2012 yılı kalkış Ln (Lgece) gürültü konturları ve konut yapıları .....	211
<b>Şekil 5.25:</b> 2012 yılı kalkış Ln (Lgece) gürültü konturları ve yardımcı yapılar (ticari, resmi, fabrika) .....	212
<b>Şekil 5.26:</b> 2012 yılı kalkış Ln (Lgece) gürültü konturları ve haritalama alanı sınırları .....	213
<b>Şekil 5.27:</b> Haritalandırma alanı ve 2012 yılı kalkış Lden (Lgag) gürültü konturları .....	214
<b>Şekil 5.28:</b> 2012 yılı kalkış Lden (Lgag) gürültü konturları ve tüm yapı tipleri .....	215
<b>Şekil 5.29:</b> 2012 yılı kalkış Lden (Lgag) gürültü konturları ve konut yapıları.....	216
<b>Şekil 5.30:</b> 2012 yılı kalkış Lden (Lgag) gürültü konturları ve okul yapıları.....	217
<b>Şekil 5.31:</b> 2012 yılı kalkış Lden (Lgag) gürültü konturları ve yardımcı yapılar (ticari, resmi, fabrika) .....	218
<b>Şekil 5.32:</b> 2012 yılı kalkış Lden (Lgag) gürültü konturları ve haritalama alanı .....	219
<b>Şekil 5.33:</b> Sınır değerleri üzerinde etkilenen konut yapıları okul ve hastane yapıları ile konut sakinleri yüzdelik değerleri .....	221

## HAVALİMANI GÜRÜLTÜ HARİTALARININ HAZIRLANMASI: İSTANBUL SABİHA GÖKÇEN ULUSLARARASI HAVALİMANI ÖRNEĞİ

### ÖZET

Gelişen teknolojinin beraberinde getirdiği sorunlardan bir tanesi de gürültü problemi. Çeşitli kaynakların ürettiği gürültü ile birlikte ortaya çıkan ve insan sağlığını tehdit eden bu sorun gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeleri gürültü konusunda tedbir almaya yöneltmektedir. Bu noktada çevre gürültüsünün oluşmasında en büyük kaynaklardan bir tanesi de şüphesiz ki havalimanlarıdır. Teknolojideki yenilikler ve gelişmeler ile birlikte havalimanı ve uçak sayılarında artış olmasının yanısıra nüfus artışları da yerleşmelerin havalimanları çevrelerine doğru kaymasına neden olmaktadır. Böylelikle bu gürültü kaynağının gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki önemi de oldukça artmıştır. Farklı uçak tipleri ve havalimanlarının şehir içerisindeki konumu beraberinde değişik oranlarda gürültü oluşumlarını getirmektedir.

Gürültü haritalama, belirli bir bölgede yaşayan nüfusun gürültüden kaynaklanan rahatsızlığının belirlenmesi ve nüfusun gürültüye maruz kaldığı çevresel gürültünün değerlendirilmesidir. Bunun için çeşitli gürültü kaynaklarının (trafik, uçak, raylı sistem, sanayi vb.) ürettiği gürültüyü gösteren gürültü haritaları hazırlanır. Hazırlanan gürültü haritaları ile bölgenin yıllık gürültü değerleri, nüfusun ne kadarının kaç dBA'lık gürültüye maruz kaldığı gibi veriler elde edilir. Böylelikle bölgede gürültü kontrolü yapılabilir, stratejik planlamada yol göstericidir ve yıllar içerisinde bölgedeki gürültü değişim oranının takip edilmesini sağlar.

Çalışma kapsamında, öncelikli olarak havalimanlarındaki gürültü haritalama çalışmalarıyla ilgili literatür taraması yapılmış, bir gürültü kaynağı olarak uçak ele alınmış ve uçağın kalkış anında ürettiği gürültü türleri anlatılmış, insanlar üzerindeki olumsuz etkilerine değinilmiştir. Havalimanlarında gürültü kontrolü yapılırken meydana gelen gürültü türleri farklı açılardan incelenmiştir. Bu bağlamda, gövde gürültüsü, pervane gürültüsü, jet motoru gürültüsü gibi kaynağın ürettiği gürültü türleri ile helikopter gürültüsü, jet uçak gürültüsü, pervaneli uçak gürültüsü gibi uçak tipleri ele alınmıştır. Bir gürültü kaynağı olan uçağın frekans spektrumu, yöneltim özellikleri, zamana göre değişimi ve akustik gücüne değinilmiştir. Havalimanı gürültüsünde önemli bir yere sahip olan çevrenin fiziksel özellikleri de uzaklık etkisi, havanın yutuculuk etkisi, rüzgar ve sıcaklık değişimlerinin etkisi, zemin etkisi ve engel etkisi başlıkları altında ele alınmıştır. Diğer bir yandan, işitme konforunun uçak gürültüsü tarafından etkilenmesine ve yerleşme bölgesi için gürültü göstergelerine de bu bölümde değinilmiştir.

Bir sonraki bölümde, Türkiye'de Çevre ve Orman Bakanlığı'nın havalimanı gürültüsü ile ilgili hazırladığı yönetmeliğe değinilmiştir. Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından hazırlanan 'Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'ne göre, ana havaalanları ve yakınındaki yerler ile iki yüz elli binden fazla yerleşik

nüfusu olan yerleşim alanları için gerektiği takdirde en geç 18/7/2014 tarihine kadar gürültü seviyesinin azaltılması da dahil olmak üzere gürültü ile ilgili hususlar ve gürültünün etkileri ile baş etmeye yönelik eylem planlarının hazırlanmış olması gerekmektedir. Yönetmelikte önerilen ve pek çok Avrupa ülkesi ile Türkiye'de de kabul edilen ECAC.CEAC Doc 29'da anlatılan havalimanlarında gürültü haritalama yönteminden de bu bölümde bahsedilmiştir. Bu yöntemde anlatılan segmentleme (bölümleme) tekniğidir. Kalkış halindeki uçağın, zeminde çalışmaya başlamasından yeterliliği yüksekliğe ulaşana kadar izlediği yol bölümlere ayrılır ve her bir bölüm için kendi içerisinde gürültü hesapları yapılır. Daha sonra yöntem içerisinde bahsedilen birleştirme formülü ile elde edilen sonuçlar toplanarak toplam üretilen gürültüye ulaşılır. Çalışma kapsamında kullanılan SoundPlan simülasyon programı da aynı yöntemi altlık olarak kabul etmektedir.

Bu çalışma için seçilen Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı, Türkiye'nin ana havalimanlarından biri olduğu ve hali hazırda çevresinde bulunan yerleşimlerin dışında, henüz gelişmekte olan ve gelecekte oldukça fazla konut ve nüfus artışına ev sahipliği yapacak bir alan olması sebebiyle gürültü haritalandırma çalışmalarının mutlaka yapılması gerekmektedir.

Haritalandırılacak alanın belirlenmesi için binasız arazide denemeler yapılmış ve 55 dBA ve üzerinde gürültüye maruz kalan alanın sınırlarının Pendik ve Tuzla ilçeleri içerisinde olduğu tespit edilmiştir. Bölge, yoğun yerleşim alanlarını barındırmasının yanında aynı zamanda ticari yapıları da içermektedir. Havalimanı'nın kuzeyinde çoğunluk olarak ticari yapılar ile fabrikalar bulunurken, doğuda ticari yapı ve fabrikalara ek olarak konut bölgeleri de bulunmaktadır. Bunun yanında batı ve güneyde ise çoğunlukla boş araziler olduğu göze çarparken yer yer küçük konut bölgeleri ve özellikle batıda bazı fabrika alanlarına da rastlanmaktadır. Ayrıca haritalandırılacak bölgenin içinde, gürültüye hassas kullanımı olan okul, hastane gibi yapılara da rastlanmaktadır. Bölgede nüfusun ve yerleşimin gün geçtikçe artması, havalimanı gürültüsünün de önemini arttırmaktadır. Gürültü haritalama çalışması, yeni yapılaşmada planlama ile birlikte hali hazırda bulunan yapılarda gürültü önlemlerinin alınması için de yardımcı olacaktır.

Çalışmanın amacı, gelecekte İstanbul'un önemli merkezlerinden biri haline gelmesi tahmin edilen Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı çevresinde gürültü haritalandırma yaparak bu alandaki akademik tecrübenin arttırılmasıdır. Çalışma kapsamında, havalimanı, Pendik ve Tuzla ilçeleri için SoundPlan simülasyon programı kullanılarak gürültü haritalandırma çalışması gerçekleştirilmiştir.

Pendik ve Tuzla ilçeleri 1/1000 ölçekli ilçe haritaları İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nden dijital olarak temin edilmiş ve Autocad programı kullanılarak üzerlerinde gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Çevre ve Orman Bakanlığı (2010)'nın hazırladığı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği kılavuz alınarak, SoundPlan 6.5 gürültü haritalama yazılımı kullanılmıştır. Programda öncelikli olarak ECAC.CEAC Doc 29 yönetmeliği seçilmiş ve L değerlendirme yöntemine göre çalışma başlatılmıştır. Autocad programı kullanılarak düzenlenen arazi yükseklikleri, kullanım amaçlarına göre bina tipleri ve bina yükseklikleri DXF dosyası olarak SoundPlan programına aktarılmıştır. Daha sonra aktarılan arazi yükseklikleri kullanılarak sayısal zemin modeli (SZM) oluşturulmuş, Autocad programından aktarılan bina tipleri özelliklerine göre sınıflandırılmış ve kat



yükseklikleri girilerek bina yükseklikleri hesaplanmıştır. Sonuçta 3 boyutlu sayısal bir model elde edilmiştir. Oluşturulan modelde binalara nüfus verileri atanmış, gürültüye maruz kalan nüfus sayısı ve maruz kaldıkları gürültü seviyeleri belirlenmiştir. Zeminden 4m yükseklikte Lden cinsinden kalkış yapan uçaklar için hesaplanan gürültü değerleri 55-59, 60-64, 65-69, 70-74, 75-79 ve >80 dB olarak elde edilmiş ve 50m aralıklı ızgaralı gürültü haritaları oluşturulmuştur. Havalimanı çevresindeki ideal bina yüksekliklerini tespit etmek için gerekli cephe çalışmaları da yapılmış ancak istenen sonuçlara ulaşılamamıştır. Gelecek dönemlerde bu konu ile ilgili daha detaylı çalışmalar gerçekleştirilecektir.

Sonuç olarak elde edilen haritalarda konut, okul, hastane ve yardımcı yapılar gösterilmiştir. Haritalarda, havalimanının güneyinde bulunan ve D-100 ve sahil yolunun çevresindeki Pendik ilçe sınırlarına dahil olan yapılarda yoğunluklu olarak 65 dBA üzerinde gürültüye maruz kaldığı ortaya çıkmıştır. Özellikle havalimanının komşusu olan Tandoğan Caddesi ile Kaynarca Caddesi'nin kesişiminde bulunan Camçeşme ve Fevzi Çakmak Mahallelerinde konumlanmış konut yapılarının acil olarak kaldırılması ya da çok ciddi gürültü yalıtımı uygulanması gerekmektedir. Zira, burada bulunan konut yapıları 75-85 dBA arası gece uçak gürültüsüne maruz kalmaktadırlar ve bu değerler insan sağlığı için gerekli olan ideal gürültü sınır değerlerinin çok ötesindedir. Tuzla ilçe sınırı içerisinde kalan ve Sabancı Üniversitesi kampüsünü de içine alan Orhanlı Mahallesi ile Aydınlı, Mimar Sinan, Piyale Okulu, Şifa Mahallelerinde bulunan yapıların büyük ölçüde 50 dBA ve altındaki gürültü bölgelerinde konumlandıkları gözlenmekle birlikte çok az bir kısmının 50-60 dBA arasındaki uçak gürültüsüne maruz kaldığı elde edilen haritalara bakılarak söylenebilir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, bölgedeki havalimanı gürültüsünü çözmeye yönelik iyileştirmeler ve yenilikler yapılmasının şart olduğu gözükmektedir.



## **PREPARATION OF AIRPORT NOISE MAPS: CASE STUDY FOR ISTANBUL SABIHA GOKCEN INTERNATIONAL AIRPORT**

### **SUMMARY**

One of the problems that the developing technology brings is the noise problem. This problem comes up with different sources producing noise and threatens human health directly developed and developing countries taking precautions. At this point airports are for sure one of the biggest environment noise producing sources. As well as the number of airports and airplanes increase with technological innovations and developments, this causes an increase in population to move near airports. Thus, the importance of this noise source raised in developed and developing countries. Different amount of noise formation is brought with several airplanes and the location of airports in the cities.

Noise mapping is the identification of disturbance caused by noise affecting residents in a certain area and the assessment of the ambient noise that the population is exposed to. For this reason noise maps showing the produced noise from various sources (traffic, airplanes, rail system, industry, etc. ) are prepared. With the prepared noise maps, data like the annual noise values of the region and the amount of residents exposed to a certain dBA of noise are acquired. Thus, noise control can be made in the region, beacon in strategic planning and a change in noise levels in years can be followed.

Under this study; initially, literature review about noise mapping works at airports was made, airplanes were discussed as a noise source and the types of noise an airplane generates at departure were explicated and adverse effects of humans are discussed. While noise control at airports occurring types of noise were examined from different perspectives. In this context, produced noise by source such as body noise, propeller noise and jet engine noise and aircraft types like helicopter noise, jet aircraft noise and propeller aircraft noise are discussed. An aircraft as a noise source is analysed in the way of directivity pattern, frequency spectrum, time change and acoustical power. Important effects of physical properties of the environment for the airport noise are discussed under the headings of the effects of air impact absorption characteristics, wind and temperature variations, ground, distance and barriers. On the other hand, the comfort of hearing and settlement of the area affected by aircraft noise for the noise indicators were also discussed in this section.

In the next section, the regulations about airport noise set by The Ministry of Environment and Forestry in Turkey were mentioned. According to 'Environment Noise Evaluation and Management Regulations' set by The Ministry of Environment and Forestry; the course of actions aimed at handling the related issues with noise, including aspects about reducing noise level, and the effects of noise around the main airports, their surrounding regions and settlements with more than two hundred and fifty thousand situated population has to be prepared on 18/7/2014 at the latest if

necessary. Airports noise mapping methods in ECAC.CEAC Doc 29 which is adopted in most of the European Countries and Turkey, are discussed also in this section. This method is described in the segmentation technique. During the take off, as from the aircraft on the ground until it reaches a height of adequacy trajectory is divided into sections and for each section within its own noise calculations are made. Then, the procedure obtained by formula wherein said merge results to get the total generated noise is achieved. Scope of study SoundPlan simulation program accepts the same method as a base.

Due to not only being one of main airports of Turkey and already being surrounded by a residential area, but also being a developing area which is expected to receive a high raise of residence and population; the noise mapping studies of Sabiha Gökçen International Airport, selected for this study, has to be made.

The trials to determine the area to be mapped was made with using the ground elevation maps without buildings and Pendik and Tuzla districts were considered in this area which are effected more than 55 dBA noise levels. The districts consist of commercial buildings besides thickly populated areas. While there are mostly commercial buildings and factories at the north of the airport, at the east there are residential areas in addition to commercial buildings and factories. Moreover; both empty lots and partly small residential areas stand out at the west and south and some factorial areas were found especially at the west. Additionally, there are noise sensitive buildings such as schools or hospitals in the area to be mapped. The importance of the airport noise rises because the residence and population are increasing day by day. Noise mapping study will be helpful for new housing plans and also for taking precautions in the available structures.

The aim of the study is noise mapping of Sabiha Gökçen International Airport surrounding, which is predicted to become one of the important centers of Istanbul, to enhance academic knowledge in this area. In this study noise mapping of the airport and Pendik and Tuzla districts are made using the simulation programme SoundPlan.

Pendik and Tuzla 1/1000 scale county maps are digitally provided by the Istanbul Metropolitan Municipality and necessary arrangements have been made by using AutoCAD. SoundPlan 6.5 computer programme is used which is guided by 'Environment Noise Evaluation and Management Regulations' set by The Ministry of Environment and Forestry. Initially ECAC.CEAC Doc 29 regulation is selected for the program and the studies are started according to the  $L_{den}$  evaluation method.  $L_{den}$  evaluations which are created by using AutoCAD computer program, and the type of buildings and building heights which are created as DXF format files are transferred to SoundPlan computer program. Afterwards, by using these land elevations the numerical ground model (SZM) is created and by using the height levels buildings' height values are calculated. As a result of these applications a 3Ds dimensional numerical CAD model is obtained. On this numerical model inhabitants' information is applied to the buildings. By doing so the number of inhabitants that are exposed to the noise and the level of this noise are detected. Noise levels are obtained as 55-59, 60-64, 65-69, 70-74, 75-79 and >80 dBA at the 4 meters height from the ground roll and grid noise maps have been generated with 50 meters spaces. Facade studies have done to identify the optimum building height around the airport

but could not be reached the desired results. More detailed studies will be carried out on this subject in future periods.

As a result, houses, schools, hospitals and ancillary structures are shown by the obtained maps. Maps are emerged that the buildings which are located on the south of the airport and surrounded by the D-100 and coastal roads, are exposed to noise over 65 dBA. Especially, buildings which are located around the intersection of Tandoğan Avenue and Kaynarca Road named Camçeşme and Fevzi Çakmak neighborhood next to the airport, should be removed immediately or very serious noise insulation should be applied. In fact, residential structures are exposed over 75-85 dBA aircraft noise at nights and these values are much more than the ideal noise limit values for human health. Buildings which are located in the Orhanlı, Aydınlı, Mimar Sinan, Piyale Okulu and Şifa neighborhood, are mostly effected by 50 dBA and less aircraft noise. On the other hand, only some of these buildings are exposed to noise between 50-60 dBA. In accordance with the results, improvements and innovations seem to be the requirement to solve the problem of airport noise around this area.



## 1. GİRİŞ

Günlük yaşamda seslerin algılanması, insan huzuru için büyük önem taşımaktadır. Gürültü ise istenmeyen ses olarak tanımlanabilir. Ses algısını ve rahatsızlığını etkileyen pek çok faktör vardır. Bu yalnızca sesin fiziksel özelliğini değil aynı zamanda sosyolojik ve dış etkenler gibi ikincil etkenleri de içerir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), gürültünün insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkisini fizyolojik, fiziksel ve psikolojik olarak tanımlar. Bu nedenler, gürültünün kontrol altına alınması toplumun sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır.

Gürültü haritalama, belirli bir bölgede yaşayan nüfusun gürültüden kaynaklanan rahatsızlığının belirlenmesi ve nüfusun gürültüye maruz kaldığı çevresel gürültünün değerlendirilmesidir. Bunun için çeşitli gürültü kaynaklarının (trafik, uçak, raylı sistem, sanayi vb.) ürettiği gürültüyü gösteren gürültü haritaları hazırlanır. Hazırlanan gürültü haritaları ile bölgenin yıllık gürültü değerleri, nüfusun ne kadarının kaç dBA'lık gürültüye maruz kaldığı gibi veriler elde edilir. Elde edilen veriler, stratejik planlamada yol göstericidir ve yıllar içerisinde bölgedeki gürültü değişim oranının takip edilmesini sağlar.

Çevre sorunlarının artması, çevre ile ilgili tedbirler alınması gerekliliğini ortaya çıkartmıştır. Çevresel gürültünün hukuki güvence altına alınması amacıyla çevreye ilişkin hükümler bir çok ülkede anayasa, kanun ve yönetmeliklerde yer almaya başlamıştır. Türkiye'de çevre hukuku ile ilgili ilk gelişmeler 1982 yılında Anayasanın 56.maddesinde 'Herkes sağlıklı ve dengeli bir çevrede yaşama hakkına sahiptir. Çevreyi geliştirmek, çevre sağlığını korumak ve çevre kirlenmesini önlemek devletin ve vatandaşın görevidir.' ibaresi ile yer almıştır. İlk çevre kanunu 9 Ağustos 1983 tarihinde 2872 sayı ile yayınlanmıştır.

Büyük kentlerde nüfusun gün geçtikçe artması ve büyük havalimanlarının da büyük kentlere kurulmaya başlanması ile birlikte, havaalanı gürültüsü gittikçe daha büyük önem kazanmaya başlamıştır. Türkiye'de havalimanlarında gürültü haritalama ve gürültü kontrolü ile ilgili ilk çalışmalar Yılmaz'ın 1979 yılında 'Uçak Gürültüsünün

Kontrol Altına Alınması Amacıyla Yeşilköy Hava Alanı Çevresinde Yerleşme Sınırlarının Belirlenmesi' adı altında yazdığı yüksek lisans tezi ile başlamıştır. Bunu takiben Yılmaz (1986) havaalanı çevresinde arazi kullanım planlaması için uçak gürültü ölçütlerinin saptanmasında kullanılabilir bir yöntem önerisinde bulunmuştur. Demirkale (Yılmaz), 1990-1994 yılları arasında uçakların yerden kalkış zamanları sırasında gürültü konturlarının saptanması için Atatürk Havaalanı çevresinde bir uygulama çalışması ile birlikte bir de uçağın meteorolojik faktörler sebebiyle kalkış yönünün değişmesinin konturlar üzerindeki etkilerini karşılaştıran bir araştırma yapmıştır. Ayrıca yine 1994-1996 yılları arasında İTÜ araştırma fonu tarafından desteklenen Atatürk Havalimanı ve çevresinde çeşitli meteorolojik faktörler ve pist konumlarını dikkate alarak kalkış ve iniş anındaki uçağın ürettiği gürültüye dair çalışmalar yapmış ve öneriler sunmuştur. Bu çalışmaları takiben Özkurt ve diğ. (2013) yılında tekrardan Atatürk Havalimanı'nı ele alarak simülasyon tekniğini kullanmış ve yeni sonuçlar elde etmişlerdir. Yine 2013 yılında Sarı ve çalışma arkadaşları Antalya Uluslararası Havalimanı ve Van Ferit Melen Havalimanı'nı ele alarak gürültü haritalama çalışmalarını yapmışlardır. Bunlara ek olarak, İzmir Adnan Menderes Havalimanı, Kayseri Erkilet Havalimanı, Kahramanmaraş Havalimanı, Batman Havalimanı ve Ankara Esenboğa Havalimanı için de gürültü haritalama çalışmaları yakın bir geçmişte tamamlanmıştır.

## **1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

İstanbul'da gün geçtikçe büyüyen yapılaşma ve artan nüfus beraberinde gürültü kontrolünü de getirmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda geçen zamanda Atatürk Havalimanı ve çevresinde yapılmış gürültü haritalama çalışmalarına rastlanmış ancak oldukça yoğun hava trafiğine ev sahipliği yapan Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı için böyle bir veriye rastlanmamıştır. Pendik ilçesinde bulunan havalimanının çevresi gün geçtikçe genişleyen İstanbul sınırları için oldukça büyük yerleşme potansiyeline sahiptir. Hali hazırda oldukça geniş bir yapılaşmaya ev sahipliği yapan ve gelecekte de daha da yoğunlaşacağı tahmin edilen bölge için havalimanı gürültü haritalaması zaruri olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışma kapsamında Pendik ve Tuzla ilçeleri harita alanı olarak belirlenmiş ve burada bulunan konut, okul, hastane ve diğer yapılar ile yerleşik nüfusun gürültüden etkilenme oranını tespit etmek amaçlanmıştır. Bu bağlamda, SoundPlan simülasyon





bulunmaktadır. Bunun yanında batı ve güneyde ise çoğunlukla boş araziler olduğu göze çarparken yer yer kk konut bölgeleri ve özellikle batıda bazı fabrika alanlarına da rastlanmaktadır.

Havalimanı bünyesinde bulunan tek pist 06/24 olarak adlandırılan pisttir ve uzunluğu 3000m (9.842ft)'dir. 2015 yılına kadar yapılması planlanan ikinci bir pist mevcut piste paralel olarak düşünülmektedir ve uzunluğunun 3500m (11.482ft) ve genişliğinin 60m olması düşünülmektedir. Aynı zamanda bu pistin Türkiye Cumhuriyeti ve evre ülkeler içerisinde Airbus 380 uçağının inebileği tek pist olacağı tahmin edilmektedir. Havalimanında gerçekleşen uçuş operasyonları, Türkiye içerisinde Antalya, İzmir, Ankara, Diyarbakır, Elazığ, Erzurum, Bodrum gibi pek çok Şehre olduğu gibi; Prag, Almanya, Fransa, İtalya, İnan, Mısır gibi pek çok ülke arasında da gerçekleşmektedir.

## **2. HAVALİMANI GÜRÜLTÜSÜNÜN YAYILMASI VE İNSANLAR ÜZERİNE ETKİLERİ**

Gelişen teknolojinin beraberinde getirdiği sorunlardan bir tanesi de gürültü problemi. Çeşitli kaynakların ürettiği gürültü ile birlikte ortaya çıkan ve insan sağlığını tehdit eden bu sorun gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeleri gürültü konusunda tedbir almaya yöneltmektedir. Bu noktada çevre gürültüsünün oluşmasında en büyük kaynaklardan bir tanesi de şüphesiz ki havaalanlarıdır. Teknolojideki yenilikler ve gelişmeler ile birlikte havalimanı ve uçak sayılarında artış olmasının yanısıra nüfus artışları da yerleşmelerin havaalanları çevrelerine doğru kaymasına neden olmaktadır. Böylelikle bu gürültü kaynağının gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki önemi de oldukça artmıştır. Farklı uçak tipleri ve havaalanlarının şehir içerisindeki konumu beraberinde değişik oranlarda gürültü oluşumlarını getirmektedir.

### **2.1 Gürültü Kaynağı Olarak Uçak Gürültüsünün İncelenmesi**

Havalimanı gürültü kontrolleri yapılırken meydana gelen gürültüler farklı açılardan incelenebilirler.

#### **2.1.1 Uçak yapısına bağlı faktörlerin ele alınması**

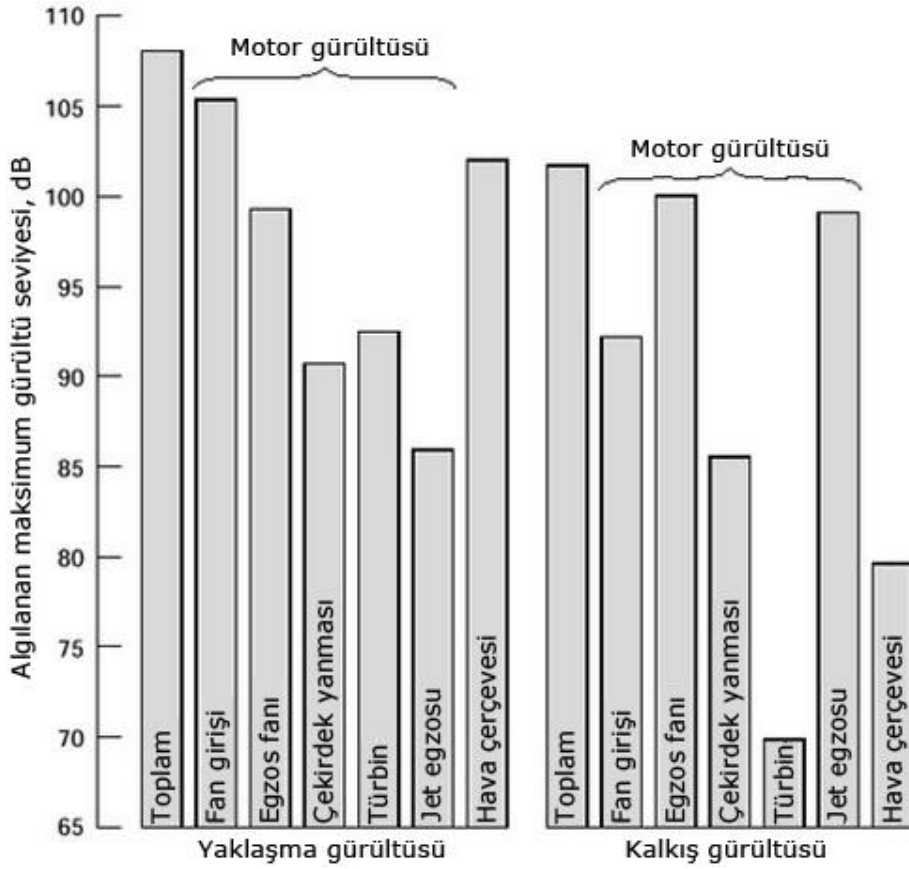
Hareket halindeki bir uçak havayı sıkıştırır ve yoğunluğunun azalmasına sebep olur. Böylelikle hava molekülleri hareket eder. Bu hareketle basınç dalgaları havada yayılır. Basınç dalgaları yeterince güçlü ve duyulabilir frekans spektrumu içinde ise işitme üretilir (URL,1)

Havalimanı gürültüsü, uçağın yapısına bağlı faktörler açısından ele alındığında aşağıda anlatılan özellikleri içerir:

##### **2.1.1.1 Kaynağın ürettiği gürültü türleri**

Uçak gürültüsü genel olarak iki kısımda incelenir: motor gürültüsü ve gövde gürültüsü. Bypass oranlarının yükselmesi ile birlikte motorlar daha yaygın hale gelmiştir ve uçak boyutları büyümüştür. Buna bağlı olarak gövde gürültüsü artmış

olsa da yine de uçağın ana gürültüsünün kaynağını motor gürültüsü oluşturmaktadır. Çeşitli ses kaynaklarının gürültü önemi Şekil 2.1’de gösterilmektedir (United Airlines, 1927).



**Şekil 2.1 :** Çeşitli ses kaynaklarının ürettiği gürültü seviyeleri (United Airlines, 1927)

Konuyla ilgili diğer bir araştırmaya göre, kaynaktan yayılan değişken gürültü, akış içerisinde zamana bağlıdır. Uçak motorlarındaki değişkenlik üç ana kaynaktan meydana gelir: pervane hareketi gözlemciyle ilişkiliyken, bir dizi zayıf şok dalgasının ortaya çıkmasına sebep olur ki bu da yüksek atlama (bypass) turbofanın keskin bir vızıltı şeklinde gürültü üretmesini sağlar; bir bıçak diğer bir bıçak ile ilişkiliyken, ilk turbojetin yaklaşma sırasında baskın olan saf ton ses gürültüsü üretilir; ve son olarak da türbülans ya da diğer akışkan istikrarsızlarda, jet gürültüsünde olduğu gibi hem bıçakların birbiriyle ya da diğer yüzeyler ile etkileşim yollarıyla hem de akışkan hareketinden kaynaklanan ses radyasyonu ortaya çıkar (URL,2).

## **Gövde gürültüsü**

Gövde gürültüsü tahmini ve azaltım çalışmaları 1970'li yılların başında Crighton tarafından başlamıştır. Crighton gövde gürültüsünü, uçuş sırasında itme gürültüsü olmayan ve kanat gürültüsünü içeren uçağın gürültüsü olarak tanımlamıştır. Ancak Lilley (2000), teorik ve deneysel programının sonuçlarının analizinde, gövde gürültüsünün, gürültü sertifikasında kullanılan 0-6500m. kalkışta, kenar çizgisi 450m'de ve 2000m'den iniş noktasında üç dereceli süzülmede üç kontrol noktasındaki motor gürültüsünün çok altında (10dB civarında) olduğunu görmüştür.

Bunun yanında Lockard (2004) gövde gürültüsünü, toplam uçak gürültüsünden motor ve motor/gövde parazit gürültüsünün çıkarılmasıyla elde edilen gürültü olarak ifade etmiştir ve gövde gürültüsünü üç bölümde incelemiştir.

1. Kanatlar (kuyruk yüzeyleri de dahil)
2. Üst kaldırma aygıtları (arka kenar kapakları, öncü kaburgalar ve ayraçlar da dahil)
3. Palet yürüyüş takımı (ana ve burun tekerleri, akslar, dağınık ayaklar, kaportalar, fren kabloları ve hidrolik boru, tekerlek yuvaları ve kapılar da dahil)

Doğrudan uçak altındaki gözlemci açısını da  $\theta=90^\circ$  iken, gövde gürültüsü gürültü şiddeti  $I$  (Watt/m<sup>2</sup>) açısından tanımlamaktadır ( $\theta$  açısı, yatay düzlemin alt kısmında ölçülür).

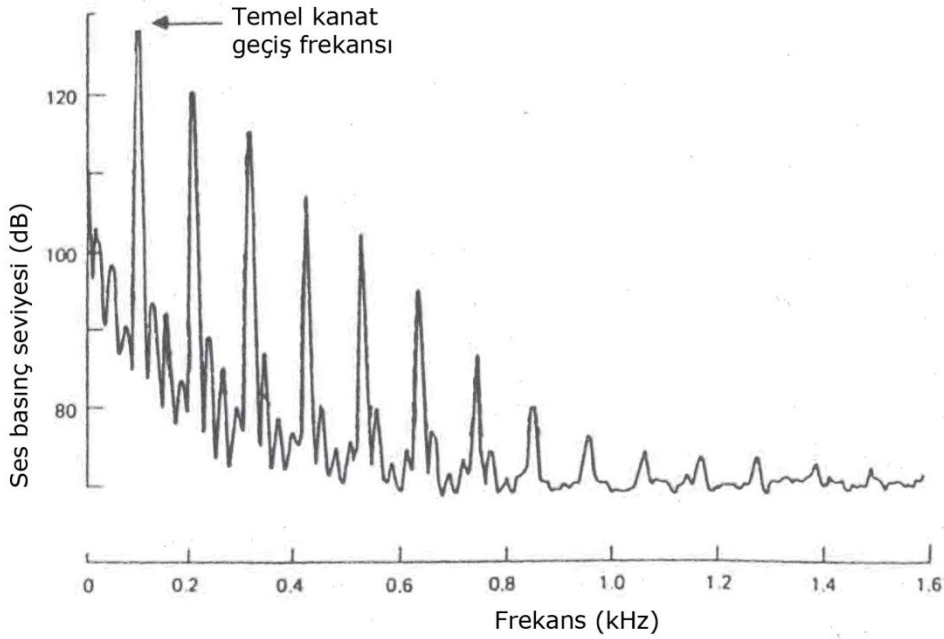
## **Pervane gürültüsü**

İtme sistemi gürültülerinin çoğunda olduğu gibi, pervane gürültüsü de ton (ya da ayrık bir frekans) ve geniş bant kategorilerinin içine girer (Smith, 1989). Pervane tarafından üretilen aerodinamik gürültü, ayrı bir frekans ve dış bant bileşenlerinden oluşmaktadır (Filippone, 2014).

Sesler (tonlar), sabit bir gözlemciye ve komşu yapılarla etkileşimlerine göre pervanenin atmosferdeki normal döngüsel bir hareketi sonucu oluşur (Smith, 1989). Ayrı bileşenler, bıçakların dönmesi sebebiyle bazen dönme gürültüsü olarak da adlandırılır. Bu ayrı bileşenlere katkıda bulunan iki gürültü kaynağı: Hava hacmini yerinden oynatan bıçak kalınlığına bağlı olan 'kalınlık gürültüsü' ve aerodinamik yükleme tarafından üretilerek akustik rahatsızlık oluşturan 'yükleme gürültüsü'dür (Filippone, 2014). Frekans spektrumu bıçak formunun harmonik azalımı ve onun çalışma şekli ile temel bıçak geçiş sayısındaki sesi ve onun yüksek dalgalarını içerir. Şekil 2.2'deki spektrum, 5-10dB'lik ortalama bozulma oranlı geleneksel tipik bir

pervane örneğidir. Genel olarak, yakın alan sinyalinin, düşük pervane hızlarında, bıçak ucunun ses hızı yaklaşımlarındaki göreceli hız gibi başlangıç şok oluşumunun bir sonucu olarak keskin bir şekilde sinüzoidal bir deseni vardır (Smith, 1989).

Geniş bant bileşeni, geniş bir frekans aralığı üzerindeki basınçta oluşan rastgele dalgalanmalardan ortaya çıkar ve emme akımı ve sınır katmanlarına bağlantılıdır aynı zamanda bıçakların arkasında oluşur (Smith, 1989).



**Şekil 2.2 :** Pervane sesi harmonik içeriğini ve bozunma oranını gösteren tipik pervane gürültü spektrumu (Smith, 1989)

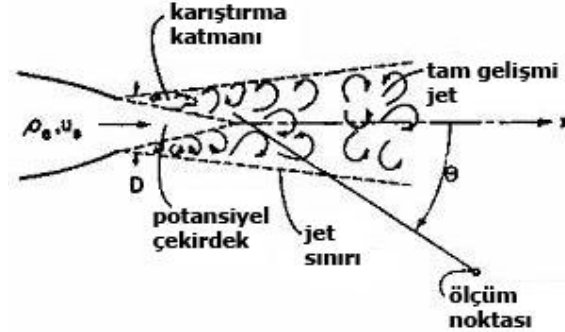
### **Jet motoru gürültüsü**

Uçak jet motorları, pervane kanatlarının uçlarında süpersonik hızlara ulaşıldığında oluşan gürültü gibi kalkış ve tırmanış sırasında oluşan gürültüye sebep olur (URL,1). Jet gürültüsü, yanma haznesinden gelen yüksek sıcaklıktaki yanmış gazların kuvvetli tüketilmesi ile bağlantılıdır (Medrano, 2012).

Bir jetin durgun ya da yavaş hareket eden akışkan durumu gibi bir akışkan sorunu olduğunda; hareketli ve sabit akışkanlar arasında kesme, akışkan-mekanik istikrarsızlığını gösterir ki bu Şekil 2.3'te gösterildiği gibi ara yüz dikey yapılarda kıvrılmaya neden olur (URL,2). Hareketsiz alana girdiğinde olduğu gibi uçak kanadı altında güçlü bir türbülans oluşturur. Bu gürültünün ana özellikleri şunlardır:

- Üretim alanı, birkaç meme çapına denk bir mesafede motorların arkasında bulunması

- Gürültü direktivitesi, uçağın arka başlığında güçlü olması
- Üretilen gürültünün olağanüstü sesleri içermemesi ve frekans bandının oldukça geniş olması (Medrano, 2012).



**Şekil 2.3 :** Çevre havasıyla karışan bir subsonik jet; tam olarak geliştirilmiş bir jetin karışma tabakası (URL, 2)

### Fan ve kompresör gürültüsü

Fan gürültüsü, uçuş koşullarını domine eder; mikrofon ile ilgili uçuş yönüne bağlı olarak jet gürültüsünden bile yüksek olabilir (Filipone, 2014). Bu alanda yapılan araştırmalar ile Mach sayılarının, fan sıkıştırma oranının, bıçak ve kanat numaralarının, rotor-stator aralığının, eğilme/kesme açılarının ve gürültü performansı üzerinde önemli bir parametre olan emme tasarımının önemini vurgulamıştır (Envia, 2001). İniş halindeki bir uçağın motor girişinden yayılan fan gürültüsü ve mevcut fan içerisindeki hava akışı, Şekil 2.4'te gösterildiği gibi jet uçaklarının ürettiği gürültüde büyük rol oynar (URL, 2). Ganz ve diğ. (1998), yaptıkları çalışmalarda, geniş bant gürültüsünün çeşitli parametrik etkilerini (uç açıklığı, emme sınır tabakası, çıkış kılavuz kanatları) incelemeyi amaçlayan kapsamlı fan ölçümlerini sağlamışlardır.



**Şekil 2.4 :** Şematik turbo fan motoru gürültü kaynakları (URL, 2)

### **Emme gürültüsü**

Vantilatör, kompresör ve türbin ile düğer bölümlerden üretilen ayırık frekans bileşenlerini (vınlama ve tıslamalar) kapsayan tüm gürültülerdir.

İniş halindeki bir uçağa ses kayıt aygıtının alıcısı tutulduğu zaman hakim olan gürültü kompresör gürültüsüdür. Bu gürültüler tek tonlu ve dar-bant ses bileşenlerini verirler (Yılmaz, 1979).

### **Egzost gürültüsü**

Bu tür gürültü bir gürültü kaynağı özellikle kalkış halinde bulunan uçaklarda, ses yayılım gücü bakımından ölçülen en büyük gürültüdür. Jet motorunun meme çapına bağlı olarak, egzost gazlarının çıkış ve yayılış hızı dolayısıyla oluşturdukları gürültü değişim göstermektedir. Jet egzostunun atmosfer ile karışımı uçaktan uzakta olduğu için jet gürültüsünü azaltmak büyük problem yaratmaktadır. Yapısal sebeplerden dolayı egzost çıkışına ilave yapmak da olanaksızdır (Yılmaz, 1979).

### **Motor gürültüsü**

Özellikle kabuk titreşimi şeklinde, türbin ve yanma olaylarının yarattığı gürültüdür (Yılmaz, 1979). Motor gürültüsü genel olarak iki şekilde ketagorize edilebilir: (1) Turbo makine bıçaklarının düzenli dönmesiyle üretilen ton gürültüsü, (2) Akış alanı içinde türbülans ile ilişkili basıncı dalgalanmalarının neden olduğu geniş bant gürültüsü. Normal şartlar altında, fanlardaki geniş bant gürültüsü, büyük ölçekli türbülansın meydana getirdiği gürültünün artması ile arka kanadın kenarlarında oluşan girdaptan ortaya çıkar. Çok aşamalı fan gürültüsünün, bölümler ve önemli bir parametre olan stator alanı arasındaki eksenel mesafe ile sabit ve hareketli bıçaklar arasındaki aerodinamik etkileşimden kaynaklandığı bulunmuştur. Şu anda uçak gürültü tahmini için kullanılan tüm modeller kararlı hal koşulları ile sınırlıdır. Bu kararlı hal (sabit yaklaşım) kesimleri haricinde, geçici gürültüyü tahmin etmek mümkün değildir (Filippone, 2014).

#### **2.1.1.2 Uçak tipleri**

Uçaklar fiziksel özelliklerinden kaynaklanan farklı gürültü üretim sistemleri sebebiyle aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilirler:

- Helikopter gürültüsü
- Jet-Prop uçak gürültüsü



- Pervaneli uçak gürültüsü
- Turbo-Jet uçak gürültüsü

### **Helikopter gürültüsü**

Helikopterlerin ana gürültü kaynakları motor, rotor ve rotorları oluşturan parçalardır (Dinç, 1986).

### **Jet-Prop uçak gürültüsü**

Pervaneler turbo-jet ile çalıştırılırsa, jet egzostu toplam itmenin %10'una değin ek bir itmede bulunur ve sonuçta uçak düşük güç düzeylerinde çalışır. Özel koşullarda, özellikle alçak itme düzeylerinde kompresör gürültüsü egemendir ve motor hava girişinden yayılan fan gürültüsü vızıltı gibi sesler çıkartır. Kompresör vızıltısı zemindeki gözlemciye yaklaşan bir jet-prop uçağının önemli bir özelliğidir (Dinç, 1986).

### **Pervaneli uçak gürültüsü**

Bu tür uçaklarda egemen olan gürültü öncelikli olarak pervane gürültüsüdür. Egzost gürültüsü daha sonra gelir (Dinç, 1986).

### **Turbo-Jet uçak gürültüsü**

Jet motorları hava kütlelerini hızlandırarak bir itme etkisi verirler. Turbo-jet motorunda hava, kompresörler içinde sıkıştırılarak yanma odasında ısıtılır ve ısıtılan hava jet burnundan atılır. Jet motorunun sesi diğer motorların seslerine göre daha rahatsız edicidir. Örneğin; pervaneli bir uçak zemindeki gözlemciyi geçerken devinim motorundan yayılan gürültü dik olarak yükselir ve sonra hemen düşer. Buna karşın, bir jet uçağı gözlemciyi geçtikten sonra gürültü düzeyi tepe değerlerine ulaşır ve bu tepe değeri süresi pervaneli uçaklara göre oldukça uzun bir zaman alır. Bu durumda gözlemciyle jet eksenini arasındaki açı yaklaşık olarak  $45^{\circ}$  dir (Dinç, 1986).

### **2.1.2 Bir gürültü kaynağı olarak uçağın akustik özellikler açısından incelenmesi**

Uçak gürültüsü ele alındığında uçağın hareketine göre oluşan gürültünün de değıştiğı gözlemlenir. Bu gürültü tipleri; uçağın kalkış/iniş anındaki gürültüsü, uçağın uçuş anında havadaki gürültüsü ve uçağında yerde dururken çalıştırılma sırasındaki gürültüsüdür.

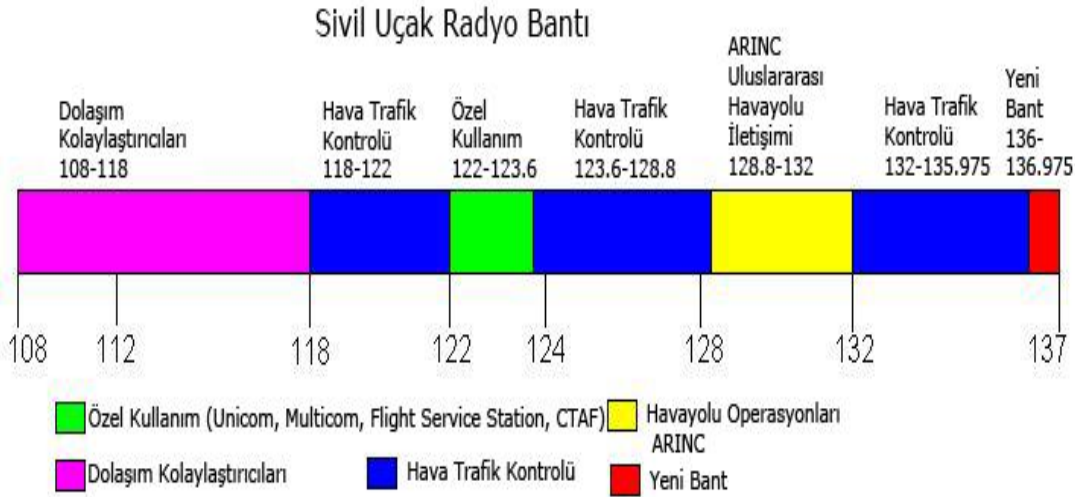
Uçağın kalkış, iniş, havadaki hareketi ve yerde çalıştırılma sırasındaki gürültü düzeylerini analiz etmek için genel olarak aşağıdaki parametreleri incelemek gerekir:

- Frekans spektrumu
- Yönelim özellikleri
- Zamana göre değişimi
- Akustik gücü (YILMAZ, 1979)

### 2.1.2.1 Frekans spektrumu

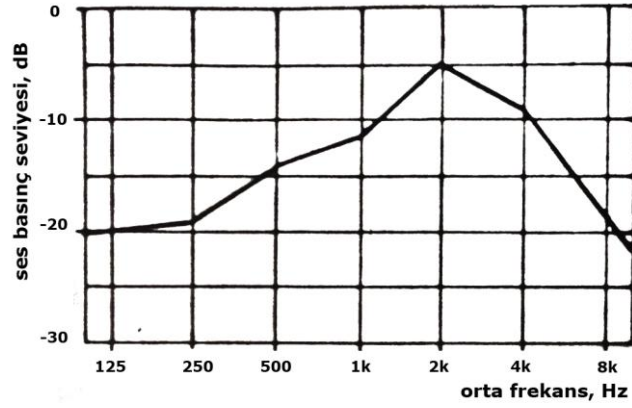
Uçak gürültüsünün spektral özellikleri (sesin frekanslara bağlı olarak ses basınç düzeylerinin değişimi) incelendiğinde, öncelikle bir süreklilik görülmektedir (Yılmaz, 1979).

Tüm sivil hava iletişimi 108-137 MHz radyo bant aralığında ortaya çıkar. Kanallar birbirinden 25 kHz aralıktır ve Genlik Modülasyonu (AM) modunu kullanırlar. Şekil 2.5'te gösterildiği gibi uçak radyo bantı çeşitli alt bantların içine doğru kıvrılmış olabilir (URL,3).



**Şekil 2.5 :** Uçak radyo bant genişliği ve alt bantlarının gösterimi (URL, 3)

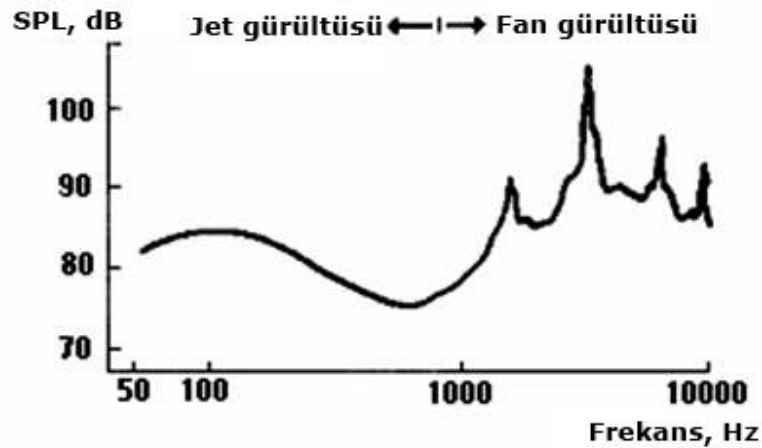
Şekil 2.6'da görünen bir jet uçağının kalkış sırasındaki spektrumunda yüksek frekans maksimum kompresör gürültüsünü yaratmaktadır (Yılmaz, 1979).



**Şekil 2.6 :** Bir jet uçağın kalkış anındaki frekans spektrumu (Yılmaz, 1979)

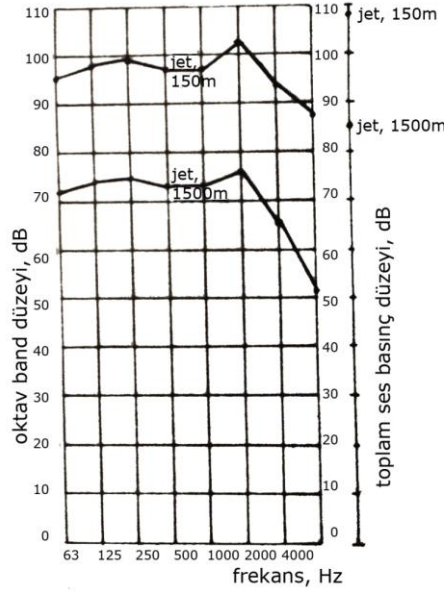
Güçteki değişiklikler eğrinin şeklini etkiler. Hız artırıldıkça alçak frekanslarda ses basınç düzeyleri artar. Süpersonik uçaklarda ise ses spektrumu, alçak frekanslarda (10 Hz'de) maksimum değeri gösterir. Bunun üstünde her oktavda 6 dB'lik bir düşme başlar (Yılmaz, 1979).

Şekil 2.7, iniş yaklaşımı sırasında bir turbofan motor tarafından üretilen tipik bir uzak alan SPL gürültü spektrumunu gösterir. Spektrum, 800 Hz altında, birinci jet egzost gürültüsü tarafından kontrol edilir. 800 ile 10.000 Hz arasındaki spektrumda, özellikle giriş kısmındaki balatalar tarafından zayıflatılmış ve fan kanalından uzak alana yayılmadan önce çok farklı frekans bileşenlerini içerir (URL,2).



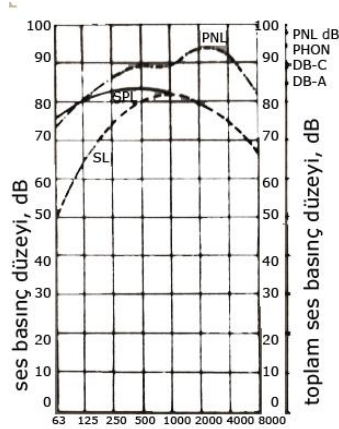
**Şekil 2.7 :** İniş yaklaşımındaki turbo fan motor gürültü spektrumu (URL, 2)

Şekil 2.8'de dört motorlu bir ticari jet uçağının 150m. Ve 1500m. Yükseklikte ölçüm aygıtının tam üstünde olduğu durumdaki gürültü spektrumu görülmektedir (Yılmaz, 1979).



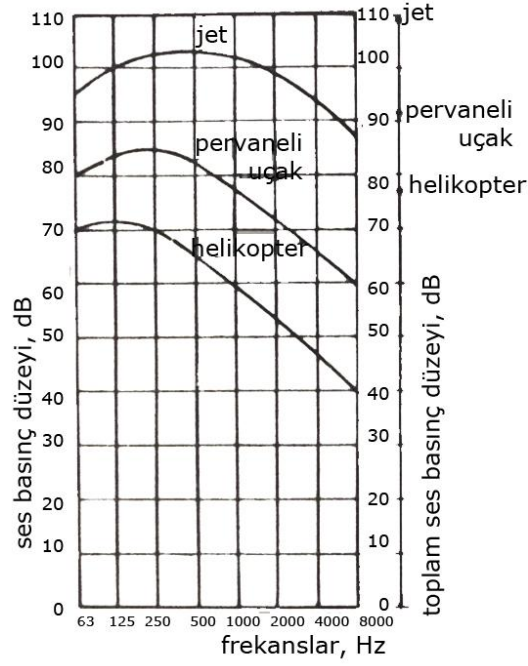
**Şekil 2.8 :** 150m ve 1500m yükseklikteki uçağın gürültü spektrumu (Yılmaz, 1979)

Şekil 2.9'da ise elektroakustik sistemle ölçülmüş bir başka jet uçağı spektrumları; ses basıncı düzeyleri ve algılanan gürültü düzeyleri (PNdB) şeklinde ayrı ayrı gösterilmektedir. Görüldüğü gibi toplam ses basıncı düzeyi 89 dB'dir. Kesik çizgili eğri aynı gürültünün A skalasında getirildiğinde ölçülen ses spektrumudur. Böylece ses düzeyi 85 dB (A) olmaktadır. Nokta-çizgi halindeki eğri ise aynı gürültünün ses seviye ölçeği N skalasına getirilerek ölçülmüş ses spektrumudur. Algılanan ses basıncı düzeyi 98 PNdB'dir (Yılmaz, 1979).



**Şekil 2.9 :** A ağırlıklı ses düzeyleri ve algılanan gürültü düzeyleri (PNdB) ile ifade edilen jet gürültüsü spektrumları (Yılmaz, 1979)

Şekil 2.10'da büyük bir jet uçağının, orta çapta 30.000 lbs tam yüklü DC-3 gibi pervaneli uçağın ve 10.000 lbs'den az ağırlığı olan pistonla çalışan bir helikopterin gürültü spektrumları görülmektedir (Yılmaz, 1979).

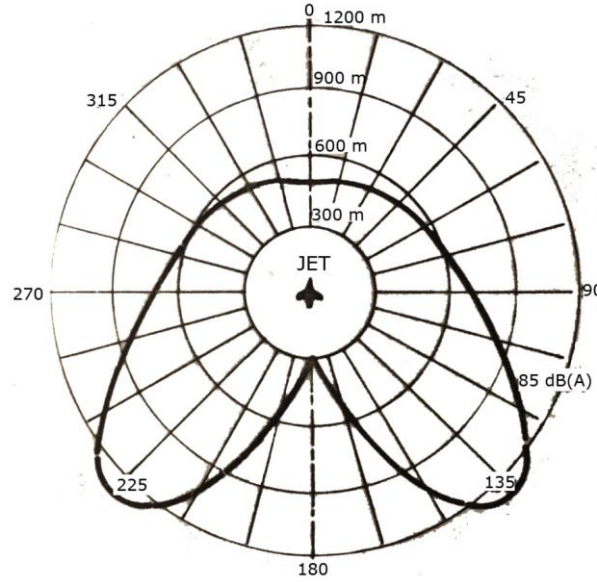


**Şekil 2.10** : 150m uzaklıkta ölçülen gürültü spektrumu (Yılmaz, 1979)

Uçağın uçuş durumu ile beraber gürültü düzeyi spektrumundaki değişimler ve bütün uçuş süresindeki değişiklikler magnetik teybe kaydedilerek elde edilebilir. Analiz esnasında bütün bu kayıtlar bir ses analiz aygıtına geçirildiğinde 8 oktav bandın her birinde maksimum çıktı görülebilir. Maksimumlar aynı zamanda birlikte, düzenli bir sıra ile çıkabilirler. Gürültü azaltma işlemleri içinde bu yöntem önemlidir. Evinde, odasında oturan bir insan; gürültü kaynağının üstten uçuş zamanı içindeki bütün gürültü bileşenlerinin maksimumları aynı zamanda oluşmasa da, bu gürültülerden korunmak ister. Aynı türden değerlendirmeler jet uçağının dışındaki pervaneli uçaklar, helikopterler, dikey inip kalkan uçaklar için de geçerlidir (Yılmaz, 1979).

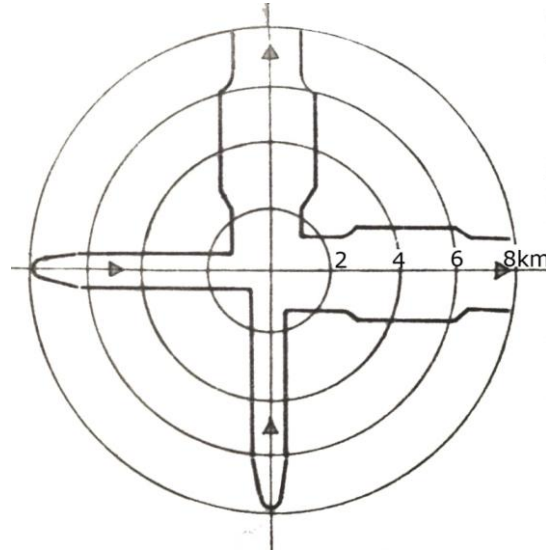
### 2.1.2.2 Yönelim özellikleri

Yılmaz (1979) bir nokta kaynaktan çıkan ses, çevreye daireler halinde yayıldığını belirtmiştir. Bu bağlamda bir dairenin üzerindeki her noktada ses düzeyi aynı değerdedir. Uçaklarda ise, kaynaktan eşit uzaklıklardaki ses düzeyleri aynı değerde değildir. Şekil 2.11'de görüldüğü gibi bir dairenin merkezinde duran bir uçağın, çıkardığı ses düzeyi 135 ve 225. derecelerde en büyük değerdedir. İşte bu özelliğe uçakların yönelim örüntüleri (directivity pattern) denir. Uçakların yönelim örüntüleri; jet motoru adedi, son yaklaşma durumu, susturucu sayısı, tipi ve meme çapı ile değişmektedir.



**Şekil 2.11 :** Bir jet uçağının yöneltim örüntüsü (Yılmaz, 1979)

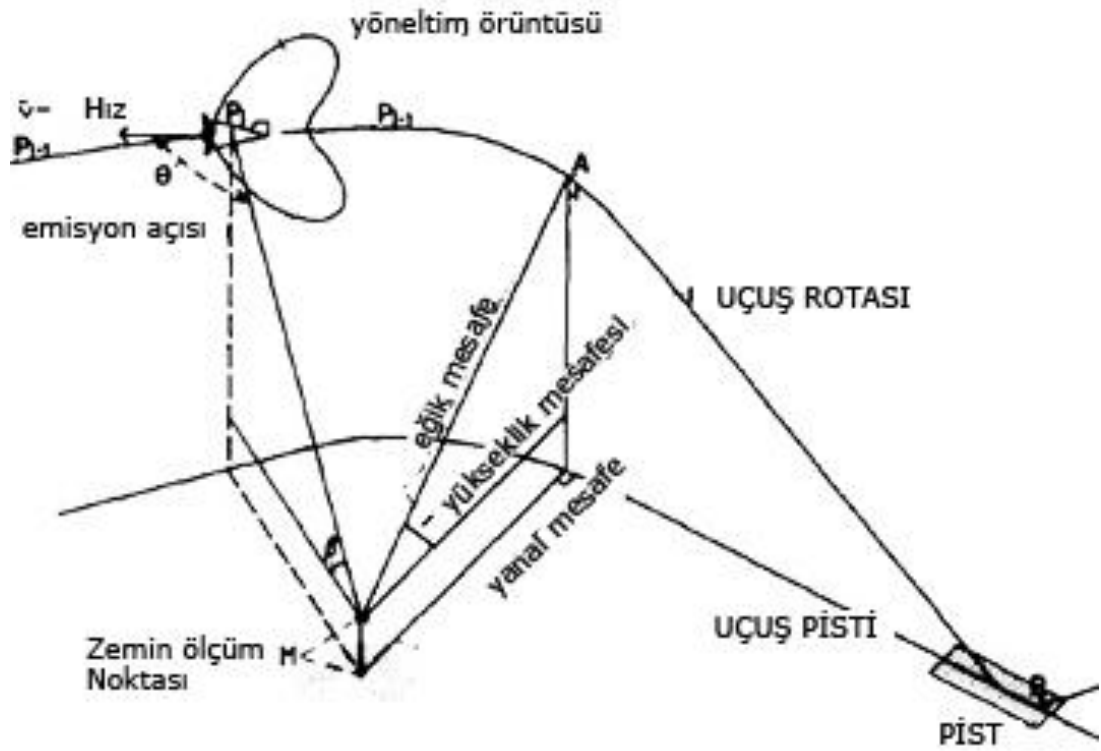
Şekil 2.12’de ise dik açılar halinde olan bir havalimanının etkilediği saha gösterilmektedir. Düz çizgiler yerdeki bir yolcu jetinin 100 PNdB’lik tahmini konturunu göstermektedir. Kalkış ve iniş noktası dairenin merkezidir (Yılmaz, 1979).



**Şekil 2.12 :** Uçak gürültüsünün etkilendiği saha (Yılmaz, 1979)

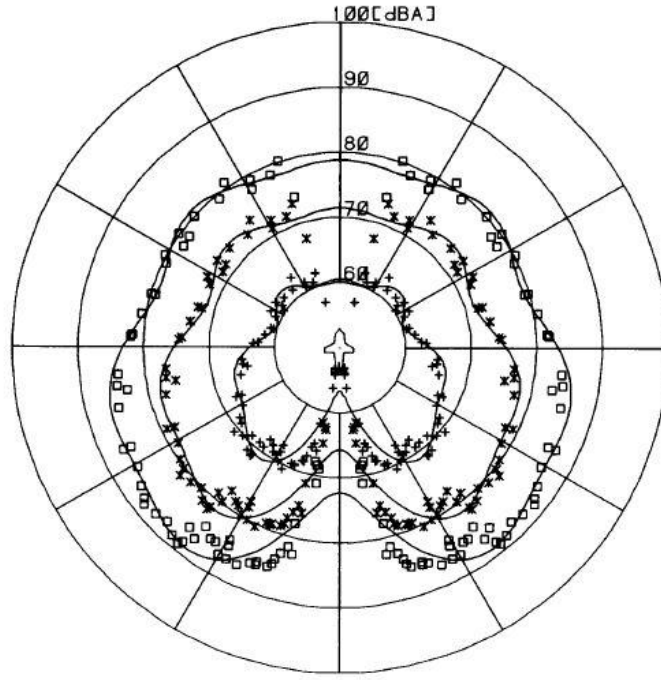
Pietrzko ve Hoffman (1987) yaptıkları çalışmalar ile uçak gürültü yayılımının yöneltim özelliklerinin akustik ve geometrik verilerin eş zamanlı kayıtlarına dayandığını belirtmişlerdir. Akustik ölçümler çeşitli zemin pozisyonlarında gerçekleştirilir ve izleme radar verileri ile senkronize edilir. Veri işlenirken, kaynak ve alıcı arasındaki küresel yayılma, atmosferik emilim ve gecikme süreleri dikkate alınır. Sonuç her bir uçak için atanan katsayıların bir grup şeklinde uçuş halindeki

uçağın yöneltim örüntüsü modelinin basit bir analitik açıklamasıdır. Katsayılar, akustik ve geometrik verilere göre eğriler halinde elde edilir. Bunlar, geniş bir aralık üzerindeki mesafeler ve emisyon açıları olarak geçerli sonuçlar veren bir dizi polinom olarak uygulanır. Uçuş halindeki subsonik uçak için A ağırlıklı ses düzeyi böylelikle doğru tahmin edilebilir. Ayrıca, üstten uçuş gürültü süresi geçmişi, uçuş yoluna göre herhangi bir gözlem noktası için simüle edilebilir. Şekil 2.13'te gösterildiği gibi eğimli mesafe; yerdeki bir gözlemci (M) ile bir uçul yolu arasındaki en yakın yaklaşma noktası (A) ile ölçülür.

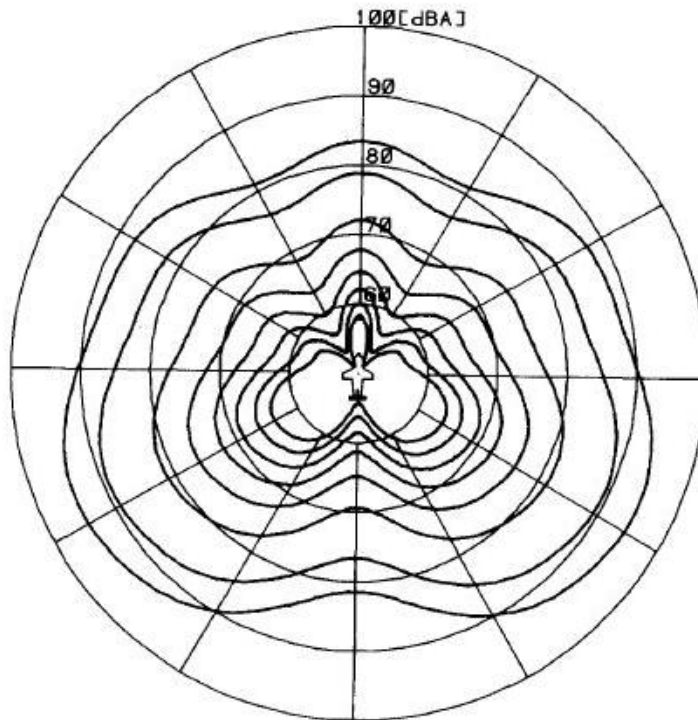


**Şekil 2.13 :** Uçak gürültü tahmini geometrik modeli (Pietrzko ve Hoffman, 1987)

SAE'de hesaplanan ve örüntü üzerine bindirilmiş ölçüm örneği R yarıçap ve M ölçüm noktası olduğu haliyle Şekil 2.14'te gösterilmektedir. İki turbofan uçak ve iki turbojet uçak için SAE'de hesaplanan yöneltim örüntüsü grupları da Şekil 2.15 ve 2.16'da verilmiştir (Pietrzko ve Hoffman, 1987).

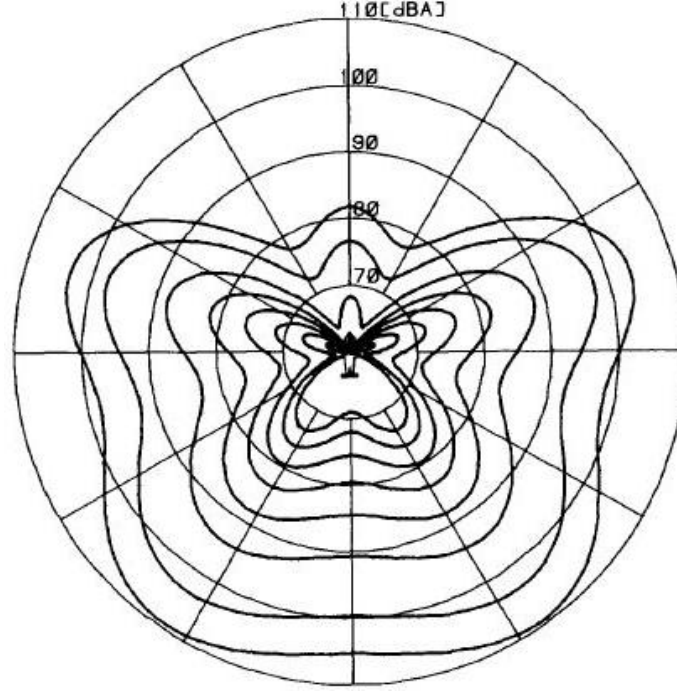


**Şekil 2.14 :** Ölçülen gürültü seviyelerine karşılık  $M=0.33$ 'te faaliyet gösteren iki turbo fan uçak için  $R=305\text{m}$  ( $\square$ ),  $R=600\text{m}$  ( $\times$ ) ve  $R=1500\text{m}$  '+' de hesaplanan  $L_A$  (dBA) gürültü seviyesi yöneltim modeli (Pietrzko ve Hoffman, 1987)



**Şekil 2.15 :**  $M=0.24$ 'te faaliyet gösteren iki turbo fan uçak için  $R=305, 500, 1000, 2000, 3000$  ve  $3500\text{m}$ 'de  $L_A$  (dBA)'nın arsa kutupsal koordinatları modeli (Pietrzko ve Hoffman, 1987)



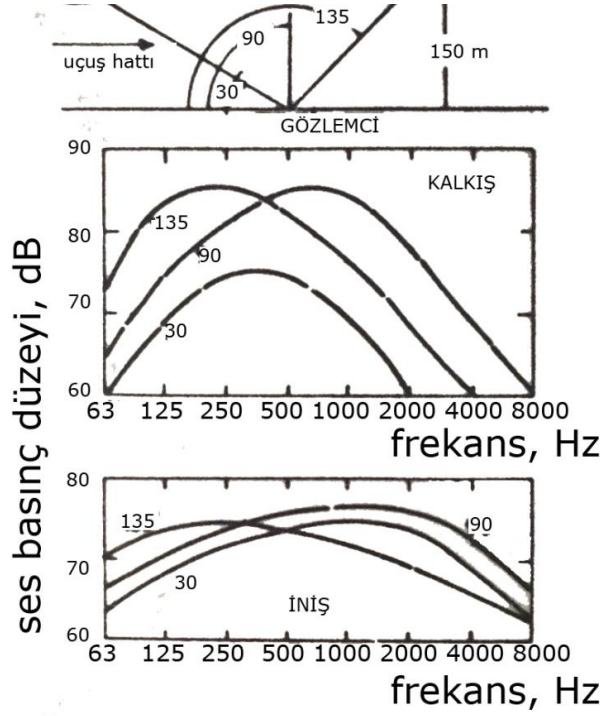


**Şekil 2.16 :**  $M=0.32$ 'de faaliyet gösteren iki turbo fan uçak için  $R=305, 500, 1000, 2000, 3000$  ve  $3500$ m'de  $L_A(\text{dBA})$ 'nın arsa kutupsal koordinatları modeli (Pietrzko ve Hoffman, 1987)

### 2.1.2.3 Uçak gürültüsünün zamana göre değişimi

Özellikle binalardaki gürültünün değerlendirilmesi açısından, jet uçaklarının gürültü değerlendirilmesinde uçağın uçuş süresi boyunca spektrumu veya uzun süreli maksimum uçuş spektrumunu dikkate almak gerekir. Bu durum Şekil 2.17'de bir turbo fan uçağının kalkışı ve inişi için gösterilmiştir. Uçak yaklaşırken duyulan ilk gürültü fan ve kompresör gürültüsüdür. Uçak gözlemciden uzaklaştıkça duyulan gürültü ise yüksek süratli jetlerden çıkan havanın çevredeki hava ile karışması sonucu ortaya çıkan egzost gürültüsüdür.

Çok süratli hareket eden bir cisimden çıkan bir ses, gözlemciye yaklaştığı zamana algılanan sinyalin frekansı sesin geldiği cisim hareketsiz olduğu zamankinden daha yüksektir. Cisim kendisinden uzaklaştıkça daha düşük frekansta bir sinyal algılar. Buna 'doppler olayı' denir. Üstten uçan uçaklarda alıcıya gelen sesin frekansında 'doppler olayı' nedeniyle bir değişiklik gözlemlenir. Buna uygun olarak, gözlemciden uzaklaşmakta olan bir uçak için algılanan frekans daha düşük, yaklaşmakta olan için ise daha yüksektir. Algılanan frekansı da hesaplamak olanaklıdır (Yılmaz, 1979).



**Şekil 2.17 :** Belli açılardaki iniş ve kalkışlar için bir jetin gürültü düzeyi karakteristikleri (Yılmaz, 1979)

Üstten uçuş süresi (bir gözleme noktasında, gürültü düzeyinin maksimum düzeyden 10 dB farklılık gösteren düzeylerinin geçici olduğu süre)  $h$  uçak alıcı uzaklığı (mil),  $V$  uçağın hızı (mil/saat) iken  $T$  yaklaşık olarak;

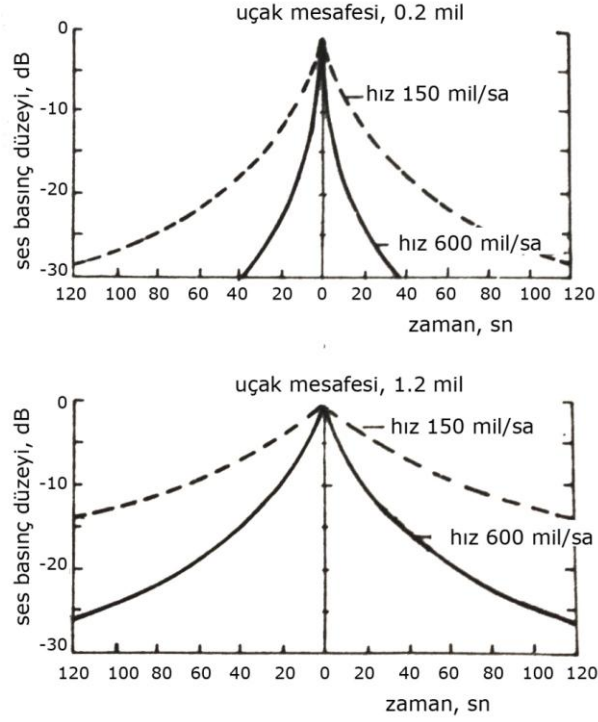
$$T = 21600 \frac{h}{V} \quad (2.1)$$

15 sn.'lik üstten uçuş süresi için ses basınç düzeyi değişikliği,

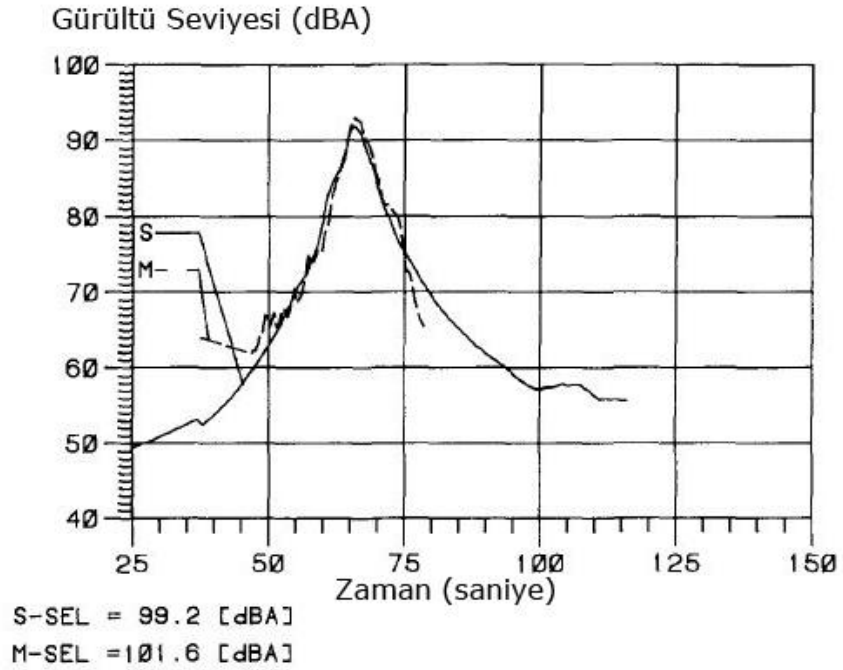
$$\Delta dB = 20 \log(V/h) - 53,5 \quad (2.2)$$

Şekil 2.18'de iki değişik mesafe ve hızdaki uçağın, zaman süresi içinde ses basınç düzeylerindeki değişiklikleri göstermektedir. Böylece yüksekliğin 0,2 mil ve hızı 600 mil/saat olan bir uçağın en üst ses basınç düzeyi olan 10 dB'i 7,2sn'de almakta, mesafe 1 mil olunca zaman süresi 36 sn veya 5 katı daha fazla olmaktadır (Yılmaz,1979).

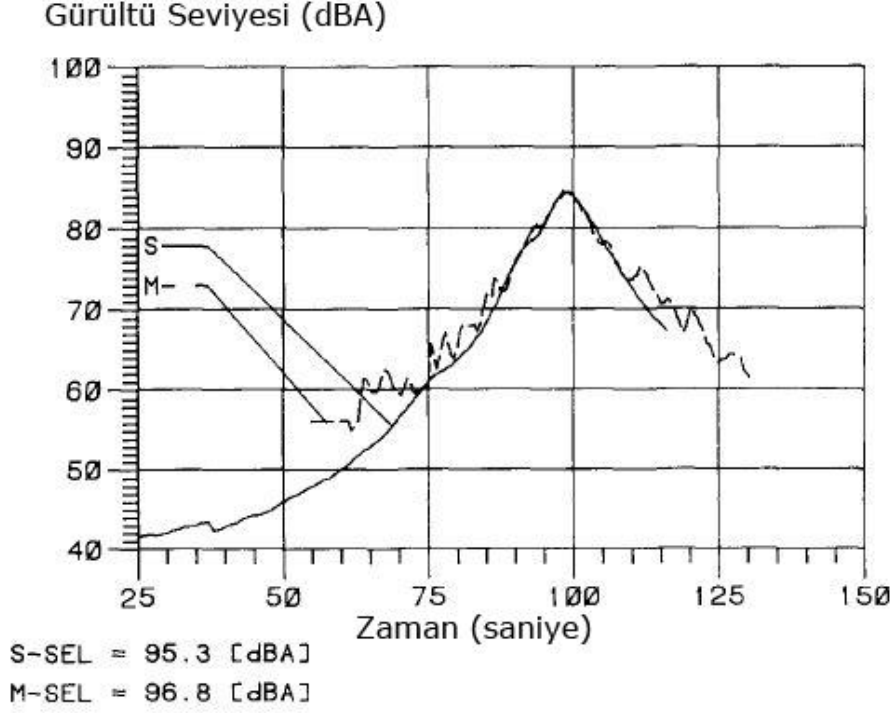
Bir turbofan ve turbojet uçak için orjinal olarak ölçülen zaman geçmişleri ile modelin karşılaştırılmasıyla elde edilen üstten uçuş gürültüsü Şekil 2.19, 2.20, 2.21 ve 2.22'de gösterilmiştir (Pietrzko ve Hoffman,1987).



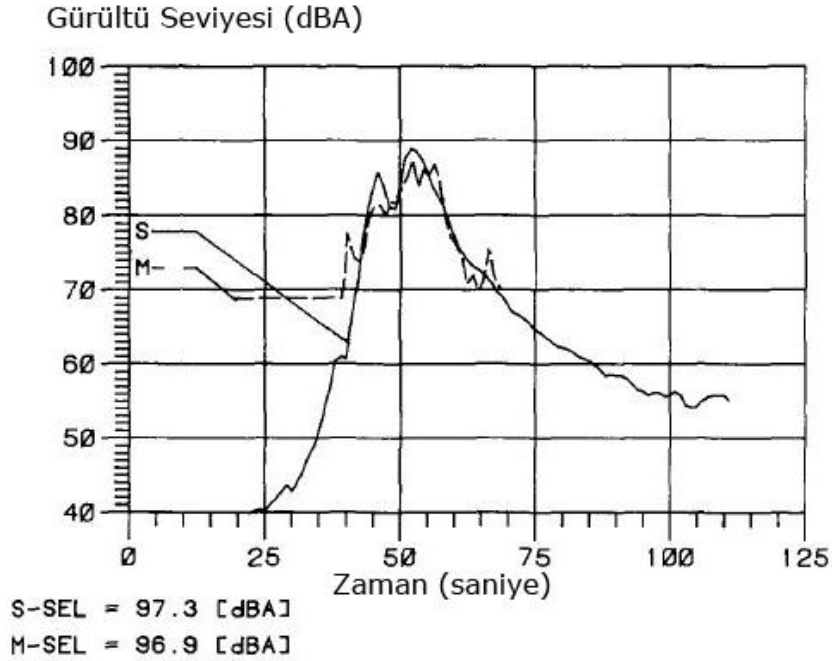
**Şekil 2.18 :** İki değişik mesafe ve hızdaki uçağın zaman içinde ses basınç düzeylerindeki değişiklikler (Yılmaz, 1979)



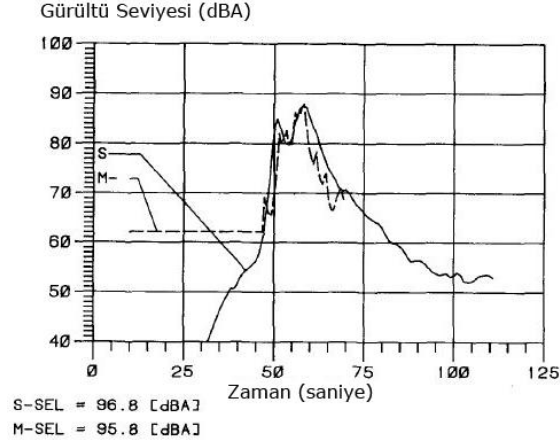
**Şekil 2.19 :** İki turbo fan uçağın kalkış başlangıcından 4250m'lik uçuş mesafesindeki parçaya, 200m yanal mesafede bulunan bir noktada ölçülmüş (M) ve simüle edilmiş (S)  $L_A$  ve SEL karşılaştırması (Pietrzko ve Hoffman, 1987)



**Şekil 2.20** : İki turbo fan uçağın kalkış başlangıcından 6800m'lik uçuş mesafesindeki parçaya, 300m yanal mesafede bulunan bir noktada ölçülmüş (M) ve simüle edilmiş (S) LA ve SEL karşılaştırması (Pietrzko ve Hoffman, 1987)



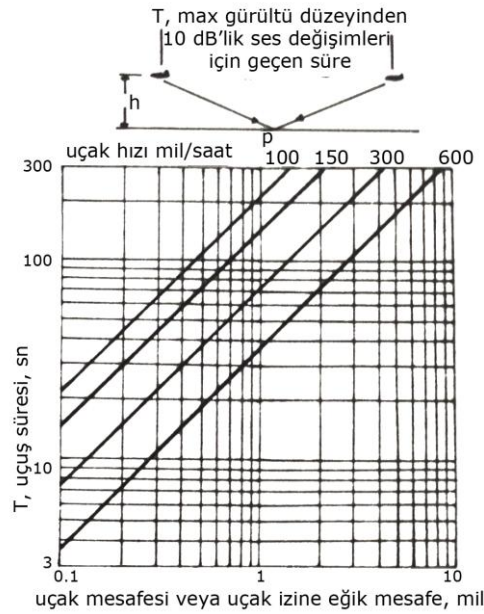
**Şekil 2.21** : İki turbo jet uçağın kalkış başlangıcından 4900m'lik uçuş mesafesindeki parçaya, 150m yanal mesafede bulunan bir noktada ölçülmüş (M) ve simüle edilmiş (S) LA ve SEL karşılaştırması (Pietrzko ve Hoffman, 1987)



**Şekil 2.22 :** İki turbo jet uçağın kalkış başlangıcından 5080m'lik uçuşmesafesindeki parçaya, 550m yanal mesafede bulunan bir noktada ölçülmüş (M) ve simüle edilmiş (S)  $L_A$  ve SEL karşılaştırması (Pietrzko ve Hoffman, 1987)

İki ölçüm noktası, uçuş pistinin yanal bölümlerinden elde edilmiştir. Gürültü tahmininde gerçek durumlarda, örneğin bir havalimanı çevresinde, çeşitli uçak tipleri için uçakların uçuş ve hız profilleri hali hazırda biliniyor olduğu için hesaplama modeli bu şekilde inşa edilebilir (Pietrzko ve Hoffman, 1987).

Şekil 2.23 ise değişik uçak süratleri için maksimum gürültü düzeyinin en fazla 10 dB fazlası ses düzeyi için, uçağın mesafesinin bir fonksiyonunu göstermektedir (Yılmaz, 1979).



**Şekil 2.23 :** Değişik uçak süratleri ve mesafeleri için üstten uçuş süresindeki değişiklikler (Yılmaz, 1987)

#### 2.1.2.4 Uçağın akustik gücü

Akustik gücü bulmak için; R alıcı-uçak arası uzaklık (dBp), SPL ses basınç seviyesi (dB) ve WL akustik güç (dBp) ise aşağıdaki bağıntı kullanılabilir (Yılmaz,1979).

$$WL = SPL + 20 \log R \text{ (dBp)} \quad (2.3)$$

Çevre ve Orman Bakanlığı'nın Çevresel Gürültü Ölçüm ve Değerlendirme Klavuzu (2011)'nde yer alan ses şiddeti, ses basıncı ve ses gücü bağıntıları aşağıdaki Çizelge 2.1'de tanımlanmaktadır.

**Çizelge 2.1** : Ses şiddeti, ses basıncı ve ses gücü bağıntıları (Demirkale, 2007).

	Ses Şiddet Seviyesi	Ses Basınç Seviyesi	Ses Güç Seviyesi
Birim	IL,dB	SPL, dB	PWL, dB
Bağıntı	$10 \log \frac{I}{I_0}$	$20 \log \frac{P}{P_0}$	$10 \log \frac{W}{W_0}$
Birimler	$I$ (watt/cm <sup>2</sup> )	$P$ dyne/cm <sup>2</sup>	$W$ (Watt)
Referans ses basınç seviyesi olarak genellikle işitilebilen en küçük düzey alınır	$I_0=10^{-16}$ Watt/cm <sup>2</sup>	$P_0=2 \times 10^{-4}$ dyne/cm <sup>2</sup> veya 0.0002 mikrobar	$W_0=10^{-12}$ watt
İşitilebilen en küçük değer	$IL=0$ dB	$SPL=0$ dB	$PWL=0$ dB
Dayanılabilen en yüksek değer	$I=10^{-3}$ watt/cm <sup>2</sup>	$P=2 \times 10^2$ dyne/cm <sup>2</sup>	...
Dayanılabilen en yüksek değer	$IL=130$ dB	$SPL=120$ dB	...

#### 2.1.3 Havalimanı trafik özellikleri

Havalimanı trafik özelliklerinin belirlenmesinde çeşitli parametreler vardır. Elbette ki hava trafiğini oluşturan ilk parametre kalkan ve inen uçak sayılarıdır. Kalkan ve inen uçak sayıları ile doğru orantılı olarak havalimanında oluşan gürültü miktarı da artar veya azalır. Diğer bir taraftan havalimanında bulunan pist sayıları da dolaylı yoldan gürültüyü etkilemektedir. Pist sayısının artmasıyla birlikte artacak olan uçuş

operasyon miktarları gürültü artışını da beraberinde getirecektir. Pistlerin sayılarının yanında birbirleriyle olan konumları da gürültü açısından önemlidir. Pistlerin konumları gürültü haritalarının oluşturulması sırasında gürültü konturlarının şekillenmesini etkilemektedir.

Havalimanı trafik özellikleri incelenirken dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta da uçuş operasyonlarının gün içerisindeki dağılımıdır. İnsan fizyolojisinin gürültüye karşı en hassas olduğu zaman dilimi gece saatleridir. Çünkü vücudun ihtiyacı olan uykunun alınmamış olması kişilerde fizyolojik ve psikolojik rahatsızlıklara yol açmaktadır. Bu nedenle, bir havalimanının trafik durumunu gece-gündüz ve yıllık operasyon dağılımlarına göre incelemek gerekmektedir.

## **2.2 Havalimanı Gürültüsünün Yayıldığı Çevrenin Fiziksel Özellikleri**

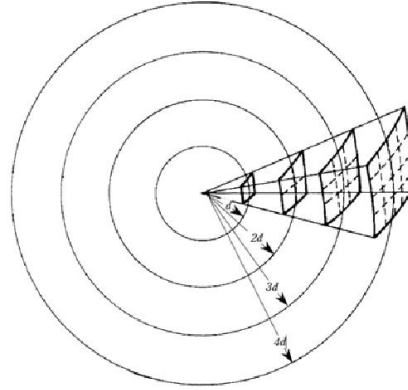
Dış mekan gürültü düzeyleri; kaynak ile alıcı arasındaki mesafe, atmosferik emilim, zeminin yutuculuk etkisi gibi pek çok farklı fiziksel çevre özelliklerine bağlıdır. Her kaynak için farklı etkiler göz önüne alınır. Kaynak ve alıcı nispeten zemine yakın olduklarında bariyerler, topoğrafya ve bitki örtüsü ile etkileşimleri de vardır. Havalimanı gürültüsü değerlendirilirken göz önüne alınacak faktörler aşağıda belirtilmektedir.

### **2.2.1 Uzaklık etkisi**

Ses homojen ve bozulmamış bir şekilde kaynaktan yayılan küresel dalgalar halinde hareket eder. Ses dalgası kaynaktan uzaklaştıkça, ses dalgalarının gücü azalarak ses enerjisini daha büyük bir alan üzerine dağıtır. Yılmaz (1979) ses kaynaklarının türü ve uzaklık ilişkisi ile ilgili olarak ‘Ses kaynağının türüne göre değişim gösteren ve frekansa bağlı olmayan uzaklık azaltım değeri çizgi kaynak için uzaklığın her iki katında 3 dB, nokta kaynak için 6 dB, uçan cisimlerde ise 7 dB olarak saptanmıştır’ demiştir.

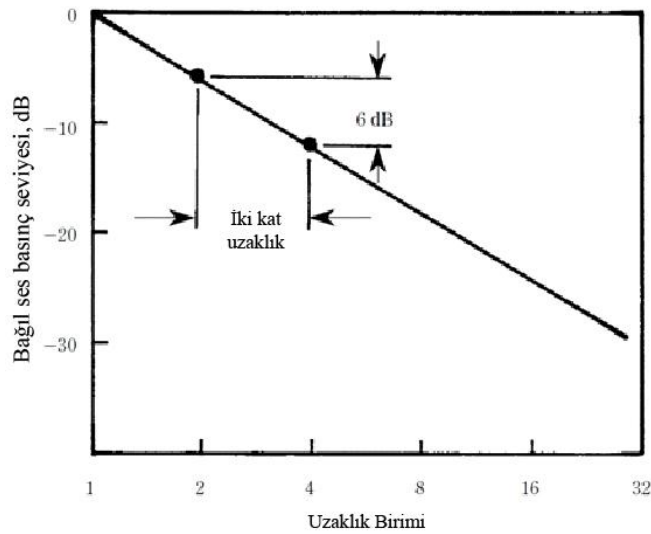
Şekil 2.24'te kaynak noktası sabit bir güçle sesi yayar. Bu ses bütün yönlerde tek bir yoğunluktadır. Daireler basit çarpanlardaki yarıçapları olan küreleri temsil eder. D yarıçapında küçük kare alandan geçen bütün ses gücü aynı zamanda 2d, 3d, 4d vb. alanlardan da geçer. Bu tek yönde dolaşan tüm ses gücündeki artış yarıçap genişlediğinden artarak daha geniş alanlara yayılır. Yoğunluk mesafeyle birlikte azalır. Kürenin alanı  $4\pi r^2$  olduğundan, kürenin yüzeyi üzerindeki küçük alt kesit

yarıçapın karesi gibi farklılık gösterir. Mesafeyi  $d$ 'den  $2d$ 'ye arttırmak yoğunluğu  $1/4$ 'e indirir, mesafeyi üçe katlamak yoğunluğu  $1/9$ 'a indirir, ve mesafeyi 4 katına çıkarmak yoğunluğu  $1/16$ 'ya indirir. Sesin yoğunluğu serbest alandaki mesafenin karesiyle ters orantılıdır. Sesin yoğunluğu (alan başına güç) ölçülmesi zor bir değişkendir. Ses basıncı kolaylıkla ölçülebilir. Yoğunluk ses basıncının karesiyle orantılı olduğundan, ters kare kuralı (yoğunluk için) ters mesafe kuralı haline gelir (Everest,2001).



**Şekil 2.24 :**  $d$  uzaklığı ile artan dairesel yüzeylerin oluşturulduğu alana aynı ses enerjileri gönderilmiştir. Ses şiddeti uzaklığı karesi ile ters orantılıdır (Everest, 2001)

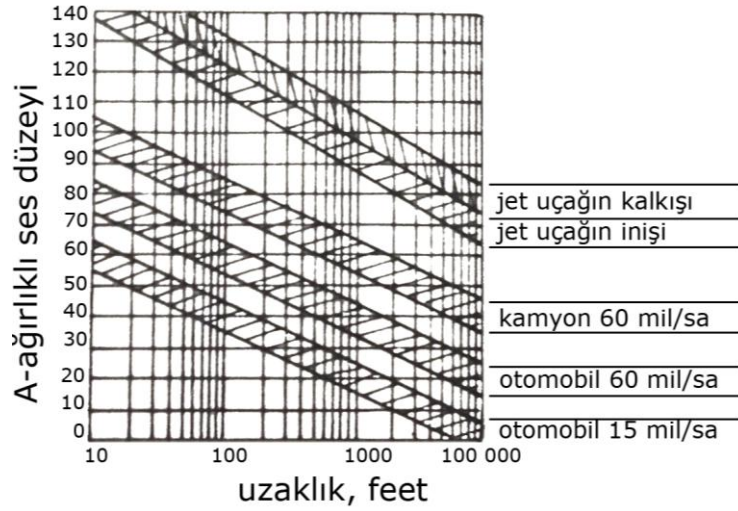
Şekil 2.25'te, ses basıncının desibel olarak seviyesi mesafeye karşı kurulmuştur. Bu yaygın ve çok yararlı bir ifadenin dayanağını oluşturur. Mesafe her iki katına çıktığında 6 desibel tekrardan sadece serbest bir alana uygulanır.



**Şekil 2.25 :** Ses yoğunluğu ile ilgili ters kare kuralı, ses basıncı için ters uzaklık kanununu oluşturuyor. Bunun anlamı, ses basıncı mesafe 2 katına çıktığında, her bir uzaklık için 6dB indirgenir (Everest, 2001)



Şekil 2.26'da gürültü düzeylerinin belirli gürültü kaynakları için değişkenlikleri görülmektedir. Yere yakın gürültü kaynaklarında, mesafe iki katına çıktığında ses düzeyi 6 dB'lik bir düzen içerisinde azaltmakta iken uçan cisimlerde mesafe iki katına çıktığında ses düzeyinde 7 dB'lik bir azaltım olmaktadır (Yılmaz, 1979).



**Şekil 2.26 :** Gürültü düzeylerinin belirli gürültü kaynakları için değişkenlikleri (Yılmaz, 1979)

Zaporozhets ve diğ. (2011)'ne göre sesin yayılmasında uzaklığın etkisi; uzaklık, tek başına öncül dalganın yayılmasına sebep olur ve bu duruma ait bazı hesaplamaları aşağıdaki denklemler ile belirtmişlerdir. En basit durumda, tüm yönlerde eşit olarak yayılan bir ses kaynağı için; güç kaynağında (P)W, 'r'm mesafe uzaklıktaki ses şiddeti (I)W/m aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (2.4)$$

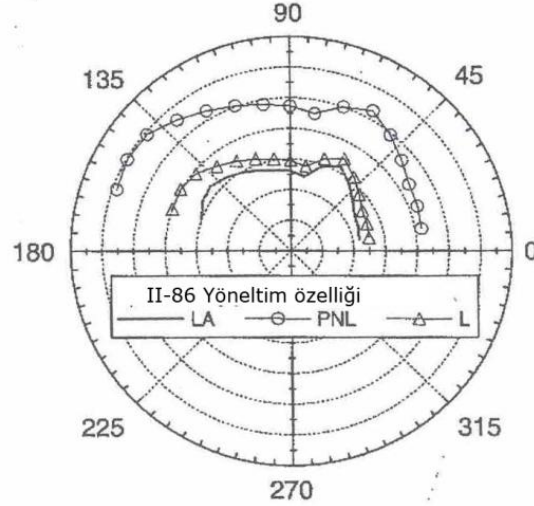
Bu, küresel öncül dalga yarıçapı (r) üzerinde birim alan başına düşen gücü temsil eder. Logaritmik olarak ses basınç seviyesi  $L_p$  ve ses gücü  $L_w$  arasındaki ilişki için aşağıda bulunan denklem kullanılır.

$$L_p = L_w - 20 \log r - 11d \quad (2.5)$$

Bir nokta ses kaynağından, mesafe başına iki kat azalma olur ki bu yukarıda da bahsedildiği gibi 6 dB'e takbil eder. Alıcı, kaynaktan yeterli uzaklıkta bir mesafede olduğunda, çoğu kaynak nokta kaynak gibi algılanır. Yönelme bir kaynak var ise, yönelme indeksinin (DI) dahil edilmesi için modifiye edilir ve bu durum aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$L_p = L_w + DI - 20 \log r - 11dB \quad (2.6)$$

Yönelme bir kaynağın doğal bir özelliği olabilir. Maksimum güç modunda, bir IL-86 uçağın yaklaşık doğal yönelme örneği Şekil 2.27’de gösterilmektedir. Genel olarak A ağırlıklı seviyeler, PNL ve ağırlıksız seviyelerde, 1m mesafeye normalleştirilmiş bir yöne işlevsel olarak gösterilmiştir.



**Şekil 2.27 :** Maksimum güç modunda bir IL-86 uçağı etrafında yönelme desenleri (referans uzaklığı  $R_0=1m$ ).Konturlar 80-150 dB arasında 10 dB aralıklarla belirlenmiştir (Zaporozhets ve diğ., 2011)

Yılmaz (1979), alçalmakta olan bir uçak için uçuş izninin altında verilmiş bir gözlem noktasında oluşturduğu gürültü düzeylerinin üzerinde uzaklık faktörünün etkisini geliş açısının (uluslararası kurallar çerçevesinde bu açı  $30^\circ$ dir) bir fonksiyonu olan yüksekliğe bağlı olarak değiştiğini belirtmiştir. Bu bağlamda yaklaşmakta olan bir uçağın pist ile değdiği noktadan olan uzaklığı bilirse yükseklik hesaplanabilir ve dolayısıyla uçağın piste değme noktasından olan yatay uzaklıktaki gürültü düzeyi bulunabilir.

$$NL = NL_0 - 24 \log \frac{\sqrt{D^2 x tga + d^2}}{tga}$$

ve  $a=3^\circ$  ise;

$$NL = NL_0 - 12 \log(d^2 + 0,0524^2 D^2) - 30,77 \quad (2.7)$$

$NL_0$  : Referans gürültü düzeyi

$D$  : Gözlenen noktanın uçağın kalkış noktasına olan uzaklığı, mil

$d$  : Gözlenen noktanın uçuş pisti izdüşümüne olan dik uzaklığı, mil

Ayrıca Yılmaz (1979) inmekte ve kalkmakta olan bir uçak için; sabit meyilli hızda, eğer A noktası tam uçuş izni altında ise gürültü düzeylerinin yaklaşık olarak aşağıdaki denklem ile hesaplanabileceğini de ifade etmiştir.

$$NL = NL_0 - 30 \log D \quad (2.8)$$

### 2.2.2 Havanın yutuculuğu

Ses, havada ilerlerken ses enerjisinin bir kısmı ısı haline dönüştürülür. Bu olayda, ısı iletim kayıpları, kesme viskozitesi kayıpları ve moleküler gevşeme kayıpları vardır. Havanın emiciliği yüksek frekanslarda ve uzun menzilde anlamlı olur. Böylece hava, düşük geçiş filtresi olarak davranır. Bir düzlem dalgası için; X uzaklıkta hava basıncı  $p_0$  iken basınç ( $p$ ) aşağıdaki denklem ile hesaplanır (Zaporozhets ve diğ., 2011).

$$p = p_0 e^{-\alpha x/2} \quad (2.9)$$

Havanın emiciliği için zayıflama katsayısı  $\alpha$ ; frekans, nem, sıcaklık ve basınca bağlıdır ve aşağıdaki denklem kullanılarak bulunabilir.

$$\alpha = f^2 \left[ \left( \frac{1.84 \times 10^{-11}}{\left(\frac{T_0}{T}\right)^{1/2} \frac{p_s}{p_0}} \right) + \left(\frac{T_0}{T}\right)^{2.5} \left( \frac{0.10680 e^{-3352/T} f_{r,N}}{f^2 + f_{r,N}^2} + \frac{0.01278 e^{-2239.1/T} f_{r,0}}{f^2 + f_{r,0}^2} \right) \frac{\text{nepers}}{\text{m.atm}} \right] \quad (2.10)$$

$f_{r,N}$  ve  $f_{r,0}$  sırasıyla nitrojen ve oksijen moleküllerinin titreşimi ile ilişkili gevşeme frekansları iken;

$$f_{r,N} = \frac{P_s}{P_{s0}} \left(\frac{T_0}{T}\right)^{1/2} \left(9 + 280 H e^{-4.17[(T_0/T)^{1/3} - 1]}\right),$$

$$f_{r,0} = \frac{P_s}{P_{s0}} \left(24.0 + 4.04 \times 10^4 H \frac{0.02+H}{0.391+H}\right) \quad (2.11)$$

f: frekans

T: Atmosfer mutlak sıcaklığı (Kelvin)

$T_0=293.15$  T'nin referans değeri

$H=p_{\text{sat}}p_0/p_s$ : Atmosferdeki su buharının moleküler konsantrasyon yüzdesi

$r_h$ : Bağıl nem yüzdesi

$p_s$ : Yerel atmosfer basıncı

$p_0$ : referans atmosferik basınç

Bu formüller;  $0.05 < H < 5$ ,  $253 < T < 323$ ,  $p_0 < 200 \text{ kPa}$  için %10 doğruluk payı ile saf seslerin emilim tahminlerini verir. Açık havanın emmesi gün ve yıl boyunca değişir. Mutlak nem (H), gündüz için de önemli bir faktördür ancak öğleden sonra pik yapar. Genellikle yaz aylarında günlük değişim fazladır (Zaporozhets ve diğ., 2011).

Yılmaz (1979), uçağın iniş noktasına 3°lik bir açı ile yaklaştığını belirtmiştir. Bu bağlamda, bu açı, uçağın mesafesi ve gözlemcinin yatay mesafesi ile değiştiği için uçağın yöneltim karakteristikleri, uçak gürültülerinin pratikte değerlendirilmesinde önemli bir değişken oluşturmaktadır.

Alıcı noktasında bulunması istenen ses basınç düzeyini hesaplayabilmek için aşağıdaki denklem kullanılabilir.

$$SPL = SPL_0 - 24 \log \frac{r}{r_0} \quad (2.12)$$

SPL: Alıcı noktadan bulunmak istenen ses basınç düzeyi, dB

$SPL_0$ : Referans ses basınç düzeyi, dB

$r_0$ : Ses basınç düzeyi bilinen alıcı uçak arası referans uzaklık, m

r: Ses basınç düzeyinin bulunması istenen alıcı uçak arası mesafe, m

Atmosferik emme, bir gözlemci tarafından alınan ses seviyelerini etkiler. Mesafe arttıkça atmosferin etkisi de artar ve bu da daha büyük dalgalanmalara sebep olur. Atmosferik emilim 1000 feet'den fazla mesafelerde önem kazanmaya başlar.

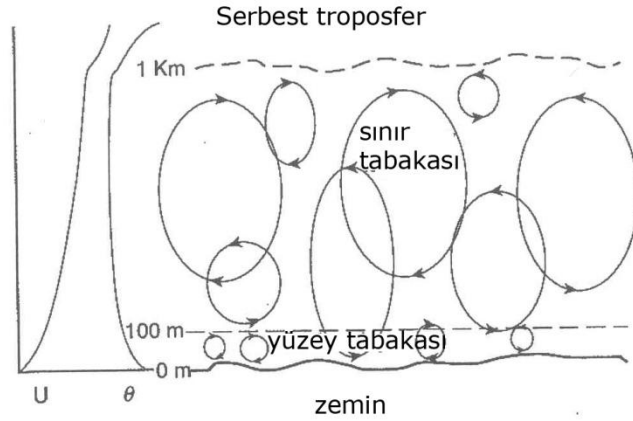
Bağıntı 2.14'ün amacı da ses basınç düzeylerindeki değişikliklerin mesafe ile olan ilişkisini göstermektedir (URL,4).

### 2.2.3 Rüzgar ve sıcaklık değişimlerinin etkisi

Atmosfer, rüzgar ve yeryüzünün düzensiz ısınması sebebiyle hareket halindedir ve Şekil 2.28'de gösterilmektedir. Kaba bir katı yüzey üzerinde bir sıvının herhangi türbülans akımı, bir sınır tabakası oluşturur. Toplum gürültü tahmini bakış açısından çıkarılan ana konu, yüzey tabakası olarak adlandırılan meteoroloji sınır tabakasının alt kısmı üzerindedir. Bu yüzey tabakasında, türbülans akım oranı %10'dan az olarak değişir ancak rüzgar hızı ve sıcaklık değişimleri fazladır.

Meteorolojik koşulların çoğunda, ses hızı yerden yüksekliğe göre değişir. Sıcaklık, genellikle yüksekliğin artmasıyla azalır. Bu durum rüzgarsız havada ses dalgalarının yukarı doğru eğilmesine/kıvrılmasına sebep olur. Ses hızına rüzgar hızı eklenir veya

çıkarılır. Kaynak, alıcının rüzgar altı yönünde olduğunda, ses rüzgara karşı yayılır. Yükseklik arttıkça, rüzgar hızı artar ve ses hızından artarak negatif ses hızı yükselmesine yol açar. Rüzgar yönünde, ses yere doğru kırılır. Her ikisi de mevcut iken rüzgar hızı, yüksek sıcaklığı domine eder. Sıcaklık ters döndüğünde (yükseklığe göre sıcaklık değişir) ses dalgaları o yükseklikten aşağı kırılabilir. Ters çevirme koşulları altında ya da rüzgar yönünde, ses seviyeleri yalnızca dalga yüzeyine yayılmaları beklenirken beklenenden daha az hızla düşmektedir.



**Şekil 2.28** : Gündüz saatleri atmosferik sınır tabakası ve türbülanslı girdap yapılarının şematik sunumu. Soldaki eğriler ortalama rüzgar hızını (U) ve potansiyel sıcaklık profillerini (θ) gösterir (Zaporozhets ve diğ., 2011)

Genel olarak, ses yayılımında ses hızı  $c(z)$ , sıcaklık  $T(z)$  ve rüzgar hızı  $u(z)$  arasındaki ilişki aşağıdaki denklemde verildiği gibidir.

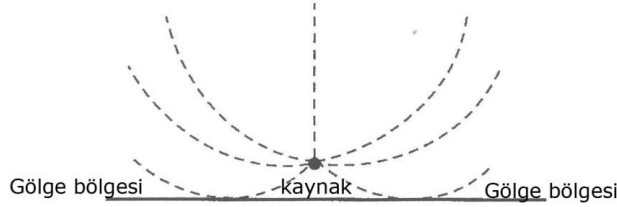
$$c(z) = c(0) \sqrt{\frac{T(z)+273.15}{273.15}} + u(z) \quad (2.13)$$

T: °C cinsinden

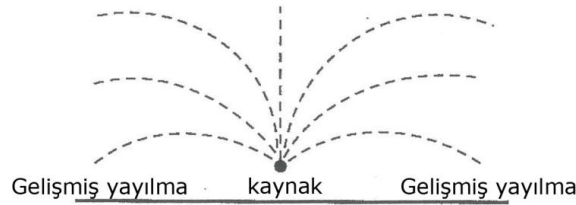
u: (her saniye için) metre cinsinden

Normalde, sıcaklık yükseklikle ters orantılıdır. Gelen ses ışınları zeminden eğilerek uzaklaşır ve kaynağın her iki tarafında gölge bölgeleri oluşturur. Bu durumda Şekil 2.29'da gösterilmiştir. Hava sıcaklığı, her zamanki düşüşünden önce mevcut yüksekliğinin üzerine çıkarsa o zaman bir ters çevirme (inversion) vardır. Ters çevirme yüksekliğinin altındaki kaynaktan çıkan ses ışınları, Şekil 2.30'da gösterildiği gibi yere doğru kırılma eğiliminde olacaktır. Bu durum, sesin yayılması için uygundur ve akustik olarak nötr koşullar altında olduğundan daha yüksek ses düzeylerine yol açabilir. Rüzgar hızı yükseklikle birlikte arttığı için bu durumdaki

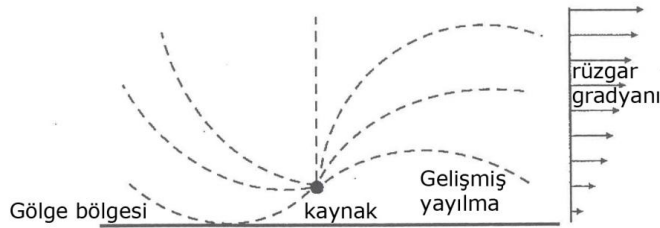
kaynağın aşağısındaki alıcılar için de geçerli olacaktır. Alıcı, grazing ışını ile tanımlanan bölge içerisinde ise, bu durumun tersi rüzgara karşı kaynak olacaktır ki bu durum da Şekil 2.31’de belirtilmiştir. Bir rüzgar eğimi (gradient) varsa, bu durum sıcaklık eğimi (gradient) üzerinde hakimdir.



**Şekil 2.29 :** Sıcaklık değişimi nedeniyle sesin kırılması: normal atlamalı hız durumu-sıcaklık yükseklikle azalır (Zaporozhets ve diğ., 2011)



**Şekil 2.30 :** Sıcaklık değişimi nedeniyle sesin kırılması: tersine çevirme durumu-sıcaklık yükseklikle artar (Zaporozhets ve diğ., 2011)

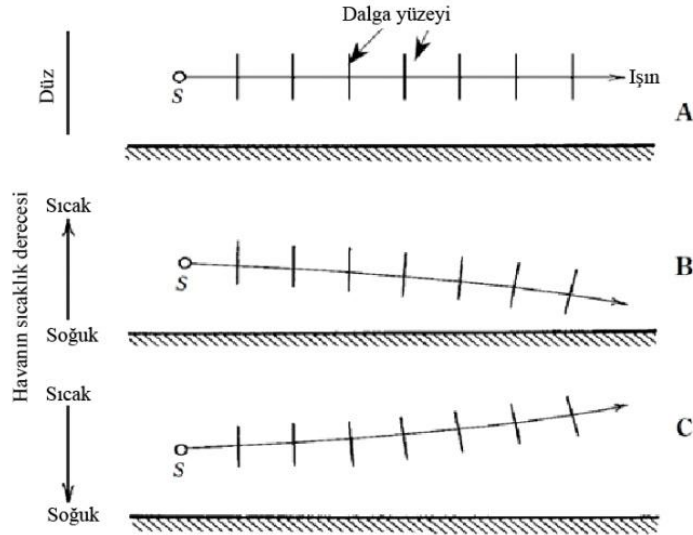


**Şekil 2.31 :** Nokta kaynaktan çıkan ses ışınlarına rüzgarın etkisi (Zaporozhets ve diğ., 2011)

Kaynak veya alıcının yere yakın olduğu pek çok durumda, zemin yansımalarını da hesaba katmak gereklidir. Ancak, bu zemin yansımalarını açıklamak için düzlem dalga yansıma katsayılarını kullanmak yerine, küresel dalga yansıma katsayılarını kullanmak daha iyi bir yaklaşım olacaktır (Zaporozhets ve diğ., 2011).

Zaporozhets ve diğ. (2011)’nin çalışmaları Everest (2001)’in söylediklerini destekler niteliktedir. Nitekim Everest (2001) atmosferde sesin yayılmasında rüzgar ve sıcaklık değişimlerinin etkileri için; atmosfer, ses yayılımı için durağan tekdüze bir araçtan başka bir şey değildir demiş ve devam etmiştir. Bazen yeryüzüne yakın olan hava daha yüksek olan havadan daha sıcaktır, bazen de daha soğuktur. Dikey kaldırmanın

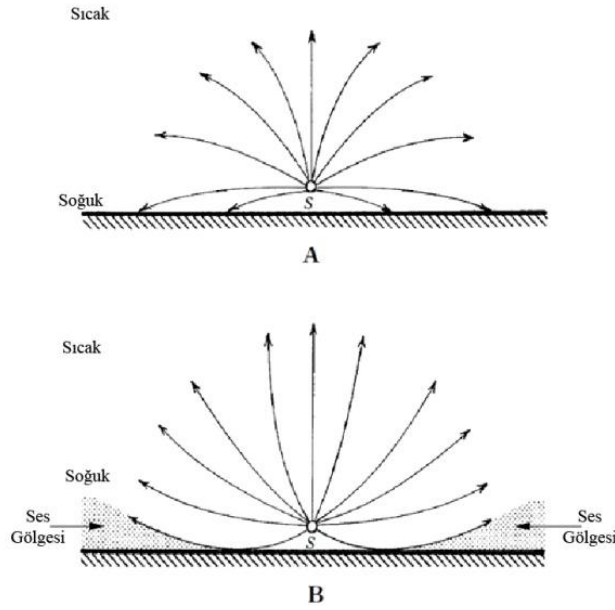
var olduğu aynı anda yatay değişimler meydana gelir. Bütün bunlar harikulade bir şekilde karışık ve dinamik bir sistemdir ve meteorolojistleri (aynı zamanda akustikçileri) bunu anlamaya zorlar. Sıcaklık değişkenlerinin varlığında, bir ses ışını belki de Şekil 2.32A'da gösterildiği gibi düz bir şekilde yayılır. Ses ışını kavramı yayılım yönü göz önüne alındığında yardımcı bir kavramdır. Ses ışınları her zaman ses dalga cephelerine diktir. Şekil 2.32B'de, sıcaklık değişikliği yeryüzü yüzeyindeki soğuk hava ve yukarıdaki sıcak hava arasında mevcuttur. Bu, sesin dalga cephelerini etkiler. Ses sıcak havada soğuk havada olduğundan daha hızlı hareket eder ki bu dalga cephelerinin üst kısmının alt kısımlarına oranla daha hızlı gitmesine neden olur. Dalga cephelerinin eğilmesi ses ışınlarını aşağı doğru yönlendirmesi gibidir. Bu koşullar altında, kaynaktan gelen ses yeryüzü yüzeyine doğru bükülür ve gayet geniş mesafelerde duyulabilir. Yeryüzü yüzeyine daha yakın olan hava uzak olana nispeten daha sıcak olduğu için, Şekil 2.32C'deki sıcaklık değişimi Şekil 2.32B'dekine terstir. Bu durumda dalga cephelerinin alt kısımları üsttekilere oranla daha hızlı hareket eder ve bu ses ışınlarının üst taraftan kırılmasına neden olur. S kaynağındaki aynı ses enerjisi şimdi yeryüzü yüzeyindeki herhangi bir büyük alandaki duyulma şansını azaltarak atmosferin üst kısımlarında dağılacaktır.



**Şekil 2.32 :** Ses yollarının kırılması atmosferdeki sıcaklık değişimi ile olur; (A) sabit sıcaklıkta, (B) soğuk yeryüzü sıcak hava, (C) sıcak yeryüzü soğuk hava (Everest, 2001)

Şekil 2.33A, Şekil 2.32B'de gösterilen aşağı doğru kırılma durumunu uzaktan bir görüşünü sunar. S kaynağından direkt olarak yukarı doğru hareket eden ses doğru açılardaki sıcaklık değişimlerine nüfuz edecek ve kırılmayacaktır. Sıcak ve soğuk

tabakalara nüfuz ettikçe belli belirsiz hızlanacak ve yavaşlayacaktır fakat yine de dikey yönde hareket edecektir. Bu kıvrılmanın miktarı maddesel olarak çeşitlilik gösterir: Dikeye yakın olan ışınlar yeryüzü yüzeyine az ya da çok paralel olanlara göre daha az kıvrılır. Şekil 2.33B, Şekil 2.32C'de gösterilen yukarı doğru kıvrılma durumunun uzaktan görünüşüdür. Bu durumda gölge alanlarıyla karşılaşılması beklenir. Dikey ışın kırıcı etkilerden kaçabilen tek ışındır. Sesi rüzgarın estiği yönde diğer yöne nazaran daha iyi duymak yaygın bir tecrübedir. Rüzgar havayı belli bir hızda hareket ettirirse, sesin hızının etkilenmesi beklenir. Eğer ses saniye 1.130 ft le hareket ederse ve saatte 10 millik (yaklaşık olarak saniyede 15 ft) hızla esen bir rüzgar meydana gelirse, rüzgarın sese etkisi ne olur? Yeryüzüne göre rüzgar yönünün tersine hareket eden sesin hızı yüzde 1 oranında artacaktır ve rüzgar yönünde olması durumunda aynı miktarda azalacaktır. Bu çok küçük bir değişiklik gibi gözüktür, fakat kıvrılmayı maddesel olarak etkilemeye yeterlidir.

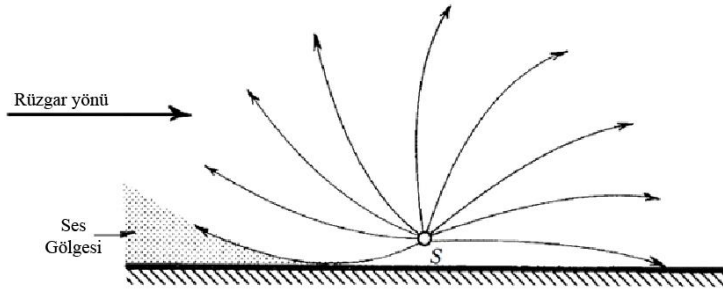


**Şekil 2.33 :** Kaynaktan çıkan sesin toplu kıvrılması; (A) soğuk hava altta sıcak hava üstte, (B) sıcak hava altta soğuk hava üstte. B'de oluşan ses gölgeleri artan kıvrılmanın sonucudur (Everest, 2001)

Şekil 2.34, Şekil 2.33A'daki aşağıda doğru kıvrılmada rüzgarın etkisi durumunu gösterir. Aşağı doğru bir gölge oluşturulur ve rüzgar yönünün tersine giden ses aşağı doğru kıvrılır. Yeryüzü yüzeyine yakın olan rüzgarın hızı daha yüksekte esen rüzgara göre genelde daha azdır. Bir rüzgar değişimi sesin yayılmasında etkisi olan böyle bir durumda meydana gelir. Bu gerçek bir kıvrılma değildir ama etkisi aynıdır. Rüzgarla beraber hareket eden ve uzak bir kaynaktan gelen düz dalgalar sesi yeryüzünde aşağı



doğru bükülecektir. Rüzgara karşı hareket eden düz dalgalar ise yukarı doğru bükülecektir. Olağandışı durumlarda rüzgara karşı hareket eden ses tercih edilebilir.



Şekil 2.34 : Rüzgar hızındaki artma sesi kıvrırır (Everest, 2001)

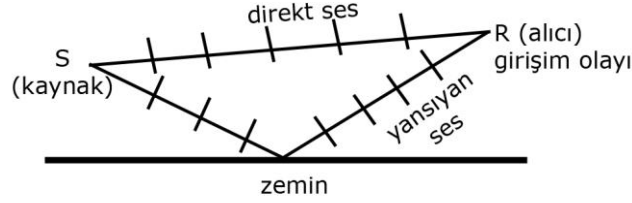
### 2.2.4 Zemin etkisi

Kaynak ve alıcı yere yakın bir yükseklikte olduğunda, kaynaktan çıkan ses alıcıya ulaşırken müdahaleye uğrar ve ses zeminden yansır. Bazen bu olguya zemin emmesi denir ancak zemin ile dış ses etkileşimi parazit (interference) ile ilişkili olduğu için yapısal müdahalenin yanısıra yıkıcı girişimden kaynaklanan zayıflama ile de ilgili iyileştirme söz konusu olabilir. Gözenekli olmayan beton veya asfalt yanında yıkıcı girişim frekansları, kaynak alıcı geometrisinden basitçe hesaplanabilir. Kaynak ve alıcı yere yakın ise ilk yıkıcı girişim nispeten yüksek bir frekansta oluşur. Bu nedenle ses basıncı duyulabilir geniş bir frekans aralığı boyunca ikiye katlanır. Bu tür zeminler sert ses olarak tarif edilmektedir. Uzun ses dalgalarının gözeneklere nüfuz yeteneği daha az olduğu için toprak, kum ve kar gibi gözenekli yüzeyler üzerinde düşük frekanslarda iyileştirme eğilimi gösterir. Ancak, ses gözenekli bir yüzeye nüfuz ettiğinde, yansılarda genlik ve faz değişiklikleri genellikle 200-800Hz arasında geniş bir frekans aralığı üzerinde hasarlı bir müdahale ile meydana gelebilir.

Bitki toplulukları, kök bölgesi de dahil olmak üzere toprak yüzey tabakasını daha gözenekli yapmaktadır. Kar, toprak ve kum yüzeye göre daha fazla gözeneklidir. Bir orman katmanında kısmen çürümüş madde tabakası da oldukça gözeneklidir. Gözenekli zemin yüzeyler bazen akustik olarak 'yumuşak' diye adlandırılır (Zaporozhets ve diğ., 2011).

Zemin üstündeki yüksekliği fazla olmayan yerlerde ses basınç düzeyindeki azalma nedeni, direkt ses ile yansımış sesin girişim yapmasıdır.

Şekil 2.35'te girişim olayı görülmektedir. Kaynak zeminden 3m yukarıdadır. Yansımış seslerin genlikleri ve fazları zeminin akustik empedansına bağlıdır (Yılmaz,1979).



**Şekil 2.35 :** Girişim olayı (kaynaktan gelen ve alıcıya yansımış ses )(Yılmaz, 1979)

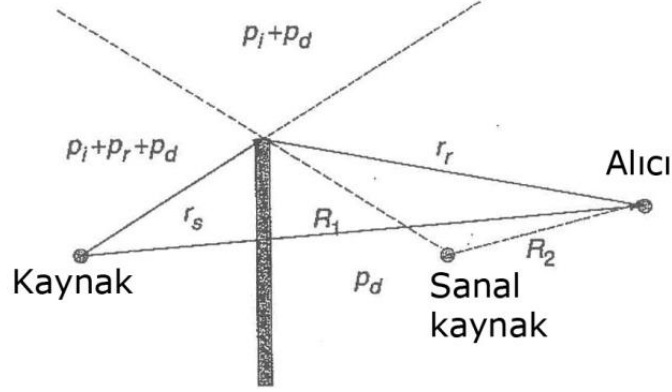
### 2.2.5 Engel etkisi

Gürültü azaltımında engel etkisi iki farklı açıdan incelenebilir. Biri doğal çevrenin oluşturduğu engel etkisi diğeri ise yapay çevrenin oluşturduğu engel etkisidir.

Yapay çevrenin oluşturduğu engel etkisinde Zaporozhets ve diğ. (2011), gürültü bariyerleri inşası, Avrupa, Uzak Doğu ve Amerika'da kentsel peyzajın çok yaygın bir parçası haline geldiğini tespit etmiştir. Havaalanlarında uçak motoru testi ve zemin tırmanma gürültü etkisini azaltmak için kullanılır. Gürültü bariyerleri genellikle birçok yapının bulunduğu bölgelerde kullanım için uygun maliyetlidir, tek bir bina için kullanımı oldukça nadirdir. Olağan gürültü bariyeri yükseklikleri (3m kadar) çok katlı konutların üst seviyelerinde genellikle etkisizdir. Geçtiğimiz iki yıl içerisinde, gürültü bariyerleri ile ilgili çalışmalar artmış ve sonuçları ulusal ve uluslar arası standartlar ile tahmin modelleri şeklinde konsolide edilmiştir. Gürültü bariyerlerinin akustik ve görsel tasarım için kapsamlı klavuzları bulunmaktadır. Gürültü bariyerleri konusunda rüzgar ve sıcaklık değişimleri, lokalize atmosferik türbülans etkisi, zamansal hareketli kaynakların etkileri, yerel bitki örtüsü, engellerin estetik kalitesi ve çevresel etkisi gibi konuların çözülmesi gerekir.

Bir gürültü bariyeri alıcı ile kaynak arasındaki doğrudan yolu bloke ederek çalışır. Sonrasında gürültü yalnızca engel kenarlarındaki kırınım ile alıcıya ulaşır. Bu nedenle bariyer zayıflatma hesabı doğrudan kırılma sorununun çözümüne bağlıdır. Kırınım sorununun tam integral çözümleri 19.yy ile 20.yy başlarında kullanılmaya başlanmıştır. Bununla birlikte, pratik hesaplamalar için bu kesin sonuçlara yaklaşık değerler kullanmak gereklidir. Genellikle, tüm gürültü bariyeri uygulamalarında olduğu gibi alıcının gölge bölgesinde olduğu ve kaynak ve alıcının bariyerden bir

dalga boyu uzaklıktan fazla mesafede olduğu varsayımı kabul edilir. Bariyer maddesi boyunca transmisyon kaybı yeterince yüksek olduğu takdirde, bir bariyerin performansı Şekil 2.36’da gösterilen geometri tarafından belirlenmektedir.



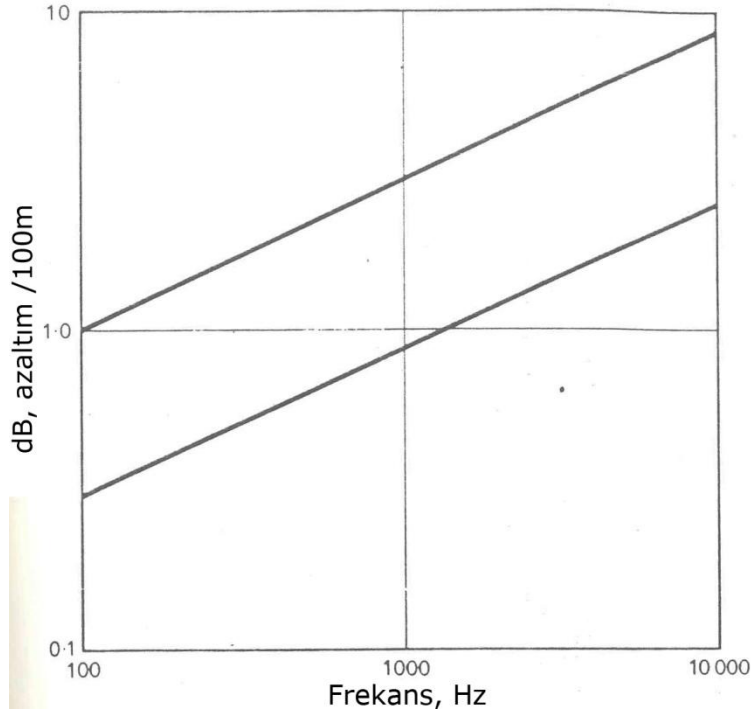
Şekil 2.36 : Sesin ince bariyerde kırınımı geometrisi (URL, 4)

Yapay çevrenin oluşturduğu engel etkisi ile ilgili başka bir yaklaşımda da binalar, evler, ses duvarları gibi yapıların sesin düz bir çizgi halinde yayılmasını engellediği ve bu yapılar tarafından korunan evlerde daha düşük gürültü seviyelerinin elde edildiği belirtilmiştir (URL,4).

Crocker (1998) yaptığı çalışmalar sonucu doğal çevrenin engel etkisi ile ilgili olarak ağaçlar ve çalılıkların yarattığı güçsüzleştirme etkisinin düşük frekanslardaki genel etkisi, zemin güçsüzleştirme etkisinin, bitki kökleri toprağı daha geçirgen hale getirmesiyle arttığını ifade etmiştir. Yüksek frekanslarda, bitki yaprakları dalga boyuyla kıyaslanabilir boyutta olduğu için rastgele dağılımdan oluşan önemli bir güçsüzleştirme etkisi de ortaya çıkar. Ormanlık alanda cephelerde ağaçlarla yaklaşık aynı yüksekliğe denk gelen parçalarda rüzgâr ve sıcaklığın düşey düzlemdeki etkisi azalır.

Buna karşılık Cunniff (1972), doğal çevrenin ses azaltımında kullanımıyla ilgili farklı bir bakış açısı sunmuştur. Cunniff (1972)’e göre çalılıklar ve ağaçlar kullanılarak gürültü azaltımı ancak marjinal olabilir. Yalnızca mesafe ile orman koşullarında yapılan ölçümler normal bir ses kaybı sağlar ve Şekil 2.37’de gösterilmektedir. Marjinal iyileşme göz önüne alındığında ağaçlardan ses yalıtımı sağlamak ekonomik bir yöntem değildir. Yine de ağaçların kullanılacağı durumlarda yapraklı ağaçların kullanılmasına önem verilmeli ve toprağına doğru kalınlaşan cinsler tercih edilmelidir.

Unutulan diğerk bir nokta da bazı durumlarda yaprakların çıkarttığı hışırdama sesinin 50 dB gibi yüksek bir gürültü seviyesi üretebilir olmasıdır.



Şekil 2.37 : Ağaçlar vasıtasıyla zayıflatma (Cunniff, 1972)

## 2.3 İşitme Konforunun Uçak Gürültüsü İle İlişkisi ve Yerleşme Bölgesi İçin Geçerli Kriterler / Göstergeler

### 2.3.1 İşitme konforunun uçak gürültüsü tarafından etkilenmesi

Gürültü, genel bir tanım olarak istenmeyen sesler olarak ifade edilmektedir. Gürültü, çeşitli ölçümler ile belirlenebildiği gibi subjektif yargılara da dayanabilir. Gürültünün insan sağlığı üzerinde çeşitli etkileri vardır.

Ses algısını ve rahatsızlığını etkileyen pek çok faktör vardır. Bu, yalnızca sesin fiziksel özelliklerini değil aynı zamanda sosyolojik ve dış etkenler gibi ikincil etkenleri de içerir. Bu faktörler Çizelge 2.2’de gösterilmektedir.

Ses derecelendirme ölçekleri, sese karşı insan yanıtını etkileyen faktörlere tepki olarak geliştirilmiştir. Bu faktörlerin neredeyse tamamı seslerin toplumda nasıl algılandığı ile alakalıdır. Pek çok akustik olmayan parametre, gürültüye karşı bireysel yanıtı etkilemede önemli bir rol oynar. Gürültü rahatsızlığında kişisel ve durumsal değişkenlerin analizinde, rahatsızlık ve çeşitli bireysel algılar arasında açık bir ilişki tespit edilmiştir.

**Çizelge 2.2 : Gürültüde bireysel rahatsızlığı etkileyen faktörler (URL, 4).**

Birincil Akustik Faktör	İkincil Akustik Faktörler	Akustik Olmayan Faktörler
Ses Seviyesi	Spektral Karmaşıklık	Fizyoloji
Frekans	Ses Seviyesi Dalganmaları	Adaptasyon ve Geçmiş Deneyim
Süre	Frekans Dalganmaları	Rahatsızlık Dinleyici Aktivitesini Nasıl Etkiler
	Gürültü Artış Süresi	Gürültünün Oluştığı Zamanın Öngörülebilmesi
	Gürültü Kaynağının Yerleştirilmesi	Gürültünün Gerekliliği
		Bireysel Farklılıklar ve Kişilik

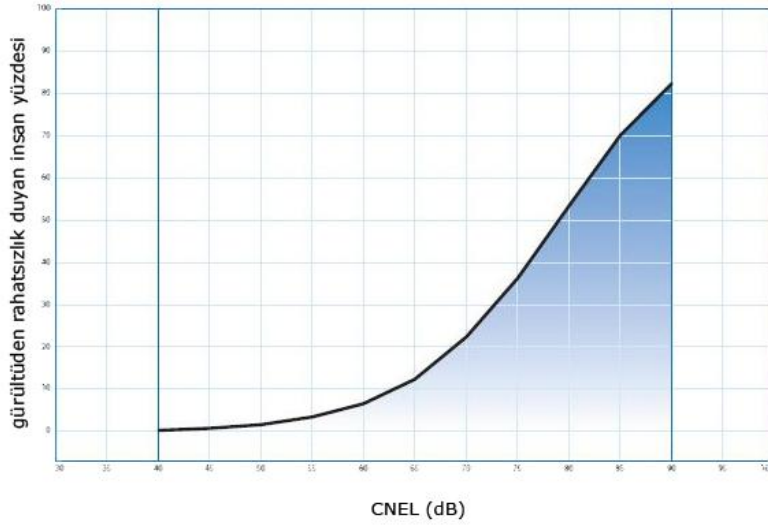
Genellikle istenmeyen ses olarak tarif edilen gürültünün insanlarda çeşitli olumsuz etkileri olduğu bilinmektedir. Gürültünün bu bilinen olumsuz etkilerinden dolayı halk sağlığını ve güvenliğini korumak ve bazı insan faaliyetlerinin aksamasını önlemek için gürültü kriterleri oluşturulmuştur. Bu kriterler; işitme kaybı, iletişim kopukluğu, uykusuzluk, fizyolojik tepkiler ve rahatsızlık gibi gürültünün insanlar üzerindeki etkilerine dayanmaktadır.

Rahatsızlık düzeyleri CNEL seviyeleri ile ilişkilendirilmiştir. Şekil 2.38, toplumun gürültüye karşı tepkileri için yapılan ankete dayalı CNEL gürültü seviyelerini gösterir. Schultz eğri tahminlerine göre, 65 dB  $L_{dn}$ 'de gürültüye maruz kalan nüfusun %14'ü son derece rahatsızdır. 60 dB'de bu oran %8'e kadar düşmektedir.

Gürültünün uyku bozukluğuna etkisi ile ilgili kapsamlı araştırmalar yapılmıştır. 35-45 dBA arası standart olmakla birlikte 25-45 dBA arası gürültü seviyesi yatak odaları için önerilen ses seviyesidir.

Gürültü sonucu işitme kaybı toplumda genel olan bir rahatsızlık değildir. Gürültüye bağlı işitme kaybı için; ağır sanayi ortamı gibi mesleki gürültüye maruz kalma ya da

atıcılık, motosiklet veya araba yarışı gibi bazı çok gürültülü eğlence ortamlarında bulunma potansiyel sebepleridir.



**Şekil 2.38 :** Rahatsızlık ve toplum gürültü eşdeğer düzeyi-CNEL (URL, 4)

İletişim kopukluğu çevresel sorunlarının birincil kaygılarından biridir. Normal konuşma ortamı 60-65 dBA aralığında olmalıdır. Bunun üzerindeki gürültü konuşma ortamını olumsuz etkiler.

Fizyolojik tepkiler, gürültünün insanlar üzerindeki kan basıncı, nabız gibi ölçülebilir etkiler yaratmasıyla oluşur. Bu tür etkiler kaynaklı ve görülebilir olsa da, ne ölçüde bir zarar getirdikleri çok fazla bilinmemektedir. Fizyolojik tepkilerde genel olarak bir silah atışı ya da bir jetin uçuş anındaki çok yüksek sese verilen kısa süreli tepkiler yer almaktadır (URL,4).

Demirkale (2007), gürültünün insan sağlığı üzerindeki etkilerini sınıflandırarak aşağıdaki çizelge ile özetlemiştir.

Yılmaz (1979) yaptığı çalışmalar sonucu uçak gürültüsünün insan sağlığına olan etkisi ile ilgili bazı sonuçlara ulaşmıştır. Bilindiği gibi insan kulağının algılayabildiği frekans aralığı 20-20.000 Hz'dir. Ayrıca 1000-4000 frekans arasındaki sesler alçak frekanslardakinden daha kolay işitilmektedir. Uçaklar ise hemen tüm işitilebilir frekans aralığını kapsamakta ancak 2000 Hz'in altındaki gürültüler daha belirgin olmaktadır. İşitilmeyen frekanslar ise titreşim etkisi yapar. Bunun yanında sesin en duyarlı olduğu 3000 Hz'de kulağın tepki gösterdiği en alçak ses basınç düzeyi 4 dB'dir. 50 Hz'de ise bu değer 40 dB'e yükselir. Uçak gürültüsü ise 3000 Hz'de 100

dB ve 50 Hz'de 95 dB civarındadır. Bu değerler uçak tipine ve uzaklığa bağlı olarak değişmektedir.

**Çizelge 2.3 : Gürültülerin sınıflandırılması (Demirkale, 2007).**

30-65 dBA	I.Derecedeki Gürültüler
30-66	<ul style="list-style-type: none"><li>• Konforsuzluk</li><li>• Rahatsızlık</li><li>• Sıkılma duygusu</li><li>• Kızgınlık</li><li>• Konsantrasyon</li><li>• Uyku bozukluğu</li></ul>
65-90 dBA	II.Derecedeki Gürültüler
	Fizyolojik gürültü
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kalp atışının değişimi</li><li>• Solunum hızlanması</li><li>• Beyindeki basıncın azalması</li></ul>
90-120 dBA	III.Derecedeki Gürültüler
	Fizyolojik gürültü
	<ul style="list-style-type: none"><li>• Baş ağrısı</li></ul>
120-140 dBA	IV.Derecedeki Gürültüler
	<ul style="list-style-type: none"><li>• İç kulakta bozukluk</li></ul>
> 140 dBA	V.Derecedeki Gürültüler
	Kulak zarının patlaması

### 2.3.2 Yerleşme bölgesi için gürültü göstergeleri

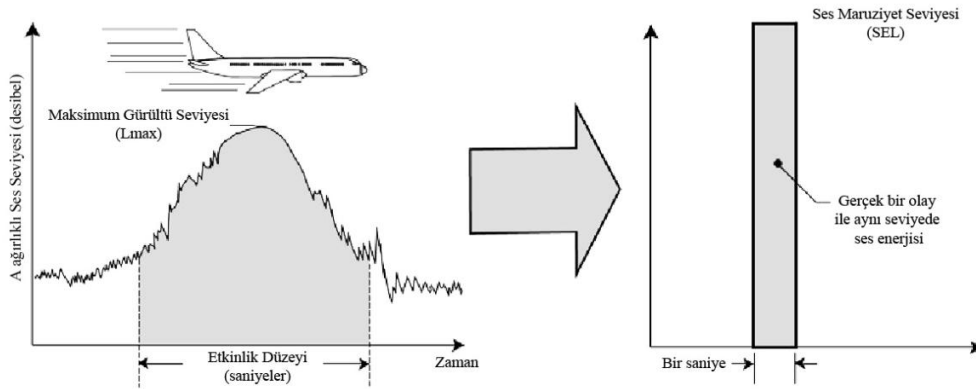
Uçak gürültüsünün insanlar üzerine etkilerini tespit etmek için fizyolojik rahatsızlıkların yanında psikolojik rahatsızlıkların da saptanabilmesi için anket ve çeşitli ölçümler yapılarak alt ve üst sınırlar belirlenebilir. Sonrasında bu sınırlar

'gösterge' olarak saptanabilir. Uçak gürültüsü için belirlenen göstergeler aşağıda açıklanmaktadır.

### 2.3.2.1 Ses maruziyet seviyesi (SEL)

Tek bir uçak üstten uçuş olayı için gürültüye maruz kalmanın sık kullanılan göstergesi Ses Maruziyet Düzeyi (SEL)'dir. SEL, bir olay süresi boyunca ses enerjisinin birikimi olarak kabul edilir (CFR, 2004). Ses maruziyet düzeyi (SEL), dBA ses seviyeleri ile hesaplanmaktadır. More (2011), sese maruz kalma seviyesinin genellikle uçak, tren ve karayolu trafik gürültüsü gibi çevresel gürültünün değerlendirilmesi için kullanıldığını belirtmiştir.

Şekil 2.39'daki gölgeli alan, SEL hesaplaması ile ses enerjisini (ya da 'dozu') göstermektedir. Daha sonra 'doz', saniyelik bir süre için normalleştirilmiştir (standartlaştırılmıştır). Bu revize 'doz', SEL'dir ve Şekil 2.39'daki dikdörtgen alanda gösterilmiştir. Matematiksel olarak, SEL, bir saniye içindeki gerçek zamanlı farklı gürültü olayı olarak aynı akustik enerjiyi üretecek sabit ses düzeyini temsil eder. Bir saniyeden fazla süren etkinlikler için, SEL doğrudan herhangi bir zamanda duyulan ses düzeyini temsil etmez ancak tüm akustik olayın net etkisinin ölçülmesini sağlar (CFR, 2004).



Şekil 2.39 : Tek bir olay gürültü metrikleri SEL, ve Lmax (CFR, 2004)

Başka bir kaynağa göre Şekil 2.40'ta gösterilen gölgelendirilmiş alan ya da maksimum gürültü düzeyi 10dB içindeki alan; hesaplanmış bir SEL alanıdır. SEL değeri, 1 saniyelik zaman dilimi içindeki olayın içinde bulunan tüm akustik enerjinin bütünlemesidir. Bu ölçüm, olayın maksimum gürültü seviyesini ve süresini göz önüne alır. Uçağın, üstten uçuşu için SEL değeri, genellikle maksimum gürültü seviyesinden 10 dBA daha yüksektir. 'Tek bir olay' ölçümleri bireysel uçak



olaylarından gürültü tanımlamak için uygun bir yöntemdir (ESA, 2009). Bu ölçüm, SEL ölçümlerine dayalı uçak gürültü eğrisi verilerini içeren havaalanları açısından kullanışlıdır. Ayrıca,  $L_{eq}$ , CNEL,  $L_{dn}$  gibi kümülatif gürültü ölçümleri SEL verilerinden hesaplanabilir. Şekil 2.42'ye göre gölgeli alan ya da 10 dB maksimum ses düzeyinin içindeki bölge, SEL'in hesaplandığı alandır. SEL değeri, eylem içinde bulunan tüm akustik enerjilerin bütünleşmesidir (URL, 4).

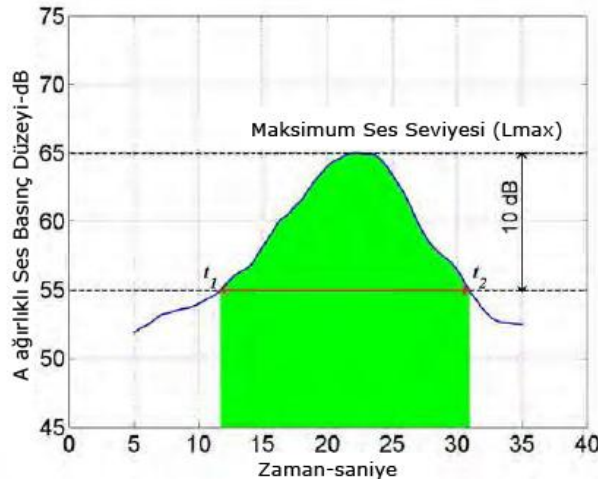
SEL hesaplamasını tanımlamak için bir uçağın A ağırlıklı ses basınç seviyesi süresi geçmişinin bir örneği Şekil 2.41'de gösterilmiştir. SEL'i hesaplamak için aşağıdaki denklemi kullanır:

$$SEL = 10 \log_{10} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p^2(t)}{p_{ref}^2} dt \quad (2.14)$$

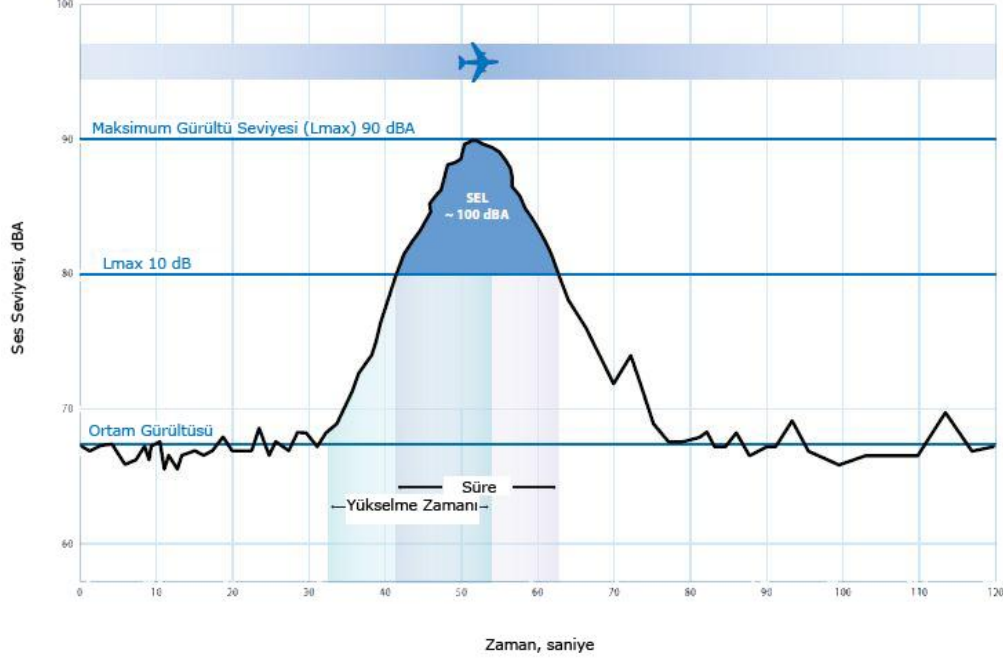
Bu denklemde,  $p$  ses basıncı,  $p_{ref}$   $20\mu Pa$  olan referans basınç,  $t_1$  ve  $t_2$  10dB'lik alt seviyeden maksimum ses basınç seviyesine ( $L_{max}$ ) kadar geçen zaman aralığını tanımlayan süredir.  $t_1$ ,  $t_2$  ve  $dt$  süreleri saniyedir (More, 2011).



Şekil 2.40 : Gürültü metrikleri SEL ve Lmax (ESA, 2009)



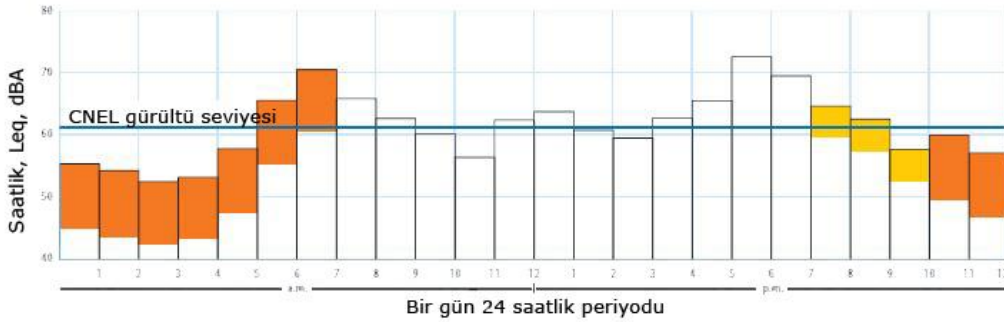
Şekil 2.41 : Geçmişteki bir uçak gürültü olayının A ağırlıklı ses basınç seviyesi süresi (More, 2011)



Şekil 2.42 : Zaman için SEL yükselişi (URL, 4)

### 2.3.2.2 Toplum eşdeğer gürültü seviyesi (CNEL)

CNEL, 24 saatlik zaman ağırlıklı A ağırlıklı desibele dayalı enerji ortalama gürültü seviyesidir. Bu, bütün bir gün boyunca yaşanan genel gürültünün bir ölçüsüdür. 'Zaman-ağırlıklı' kavramı, bazı hassas zaman aralıklarında meydana gelen gürültü olaylarına bağlı cezalar anlamına gelir. CNEL ölçeğinde 07.00-22.00 saatleri arasında yaklaşık olarak 5 dB ilave yapılır. Bu ilave, hem bu saatlerde iletişim parazitine neden olan potansiyel gürültü için hem de tipik düşük ortam gürültü düzeyleri için hesaplanır. Gece 22.00-07.00 süresindeki gürültü ilave katsayısı 10 dB'dir. Bu ilavede, gece tipik olarak meydana gelen arka plan gürültüsünün beklenenden daha aza indirgenmesi için daha yüksek hassasiyet hesaba katılır. CNEL grafiksel olarak Şekil 2.43'te gösterilmiştir (URL,4).

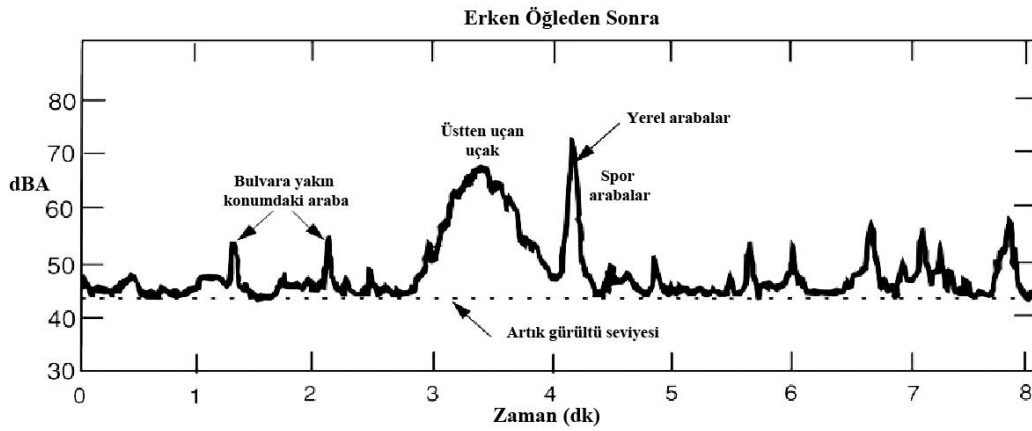


Şekil 2.43 : CNEL gürültü seviyeleri grafiksel gösterimi (URL, 4)

### 2.3.2.3 Maksimum ses seviyesi ( $L_{max}$ )

Zaman içindeki ses seviyesi varyasyonu, genelde belirli bir gürültü olayının maksimum ses seviyesi olarak tanımlanır ve  $L_{max}$  ile gösterilir. Şekil 2.44'te bir uçak üstten uçuş olayı için  $L_{max}$  yaklaşık olarak 67 dBA'dır.

Maksimum seviye, olayın sadece bir boyutunu açıklar; bir ses kaynağı tarafından üretilen toplam gürültü maruziyeti ile ilgili hiçbir bilgi sağlamaz. Aslında aynı maksimum ile iki olay çok farklı toplam maruziyet üretebilir. Bir tanesi uzun bir süre boyunca devam edebilirken diğeri kısa süreli olabilir. Ses maruziyet seviyesi (SEL), bu eksikliği düzeltir (CFR, 2004).



Şekil 2.44 : Bir banliyöde toplum gürültüsünün değişimi (CFR, 2004)

### 2.3.2.4 Eşdeğer gürültü düzeyi ( $L_{eq}$ )

$L_{eq}$ , belirli bir örnek süre içindeki değişen zaman sinayli olarak aynı toplam enerjiyi içeren A ağırlıklı ses seviyelerine karşılık gelen ses seviyesidir.  $L_{eq}$ , örnek bir süre boyunca enerji ortalama gürültü seviyesidir. Şekil 2.45'te  $L_{eq}$  aralığı gösterilmiştir.  $L_{eq}$  herhangi bir zaman aralığı için ölçülebilir ancak tipik olarak 15 dakika, 1 saat ya da 24 saat boyunca ölçülür (ESA,2009). CFR (2004) de eşdeğer gürültü seviyesini, belirli bir süre zarfında A ağırlıklı ses düzeylerinin birikmesinden kaynaklanan ses maruziyet ölçüsü olarak tanımlamıştır (örneğin 1 saat, 8 saatlik okul süresi, gece süresi veya tam bir 24 saat). Bu süreler genellikle  $L_{eq(8)}$  veya  $L_{eq(24)}$  gibi alt simgeler ile gösterilir. Eşdeğer gürültü seviyesi ( $L_{eq}$ ), çevre akustiğinin en sık kullanılan göstergesidir. FAA ise 150/5020-1 dökümanında  $L_{eq}$  için herhangi aynı süredeki dalgalı gürültü ile aynı akustik enerjiye sahip belirli bir süre üzerindeki A ağırlıklı ses seviyesi demiştir.  $LA_{eq}$  ses enerjisi, süre ve belirli bir zaman aralığındaki akustik olayların toplamını bir araya getirir (Medrano, 2012).



**Şekil 2.45 :** Bir saatlik olay (Saatlik  $L_{eq}$ ) ses seviyeleri dBA (ESA, 2009)

Kavramsal olarak,  $L_{eq}$  Şekil 2.43'te gösterildiği gibi normal 'alt' ve 'zirve' ile gerçek değişen-zaman ses düzeyi kadar ses enerjisi içeren ilgili dönemdeki sabit bir ses seviyesi olarak düşünülebilir. Tipik bir uçak üstten uçuş olayı gürültüsü kapsamında ilgili zaman dilimi içindeki toplam ses maruziyetini temsil eder. Ayrıca  $L_{eq}$ 'nin önerdiği 'ortalama' ses seviyesinin aritmetik değil logaritmik veya 'ortalama enerji' ses seviyesi olduğu unutulmamalıdır (CFR, 2004).

$L_{eq}$ 'nin Birleşmiş Milletler Çevre Koruma Bölümü tarafından çevre gürültüsünü değerlendirmede tercih edilmesinin sebebi Demirkale (2007) tarafından aşağıdaki maddeler halinde sıralanmıştır:

- Gürültünün insan üzerindeki etkileri ile mükemmel uyumu,
- Kesin, basit ve pratik olması,
- Hem planlamada hem uygulamada kullanılabilir olması,
- Gerekli olan ölçüm cihazları standart ve piyasada kolay bulunabilir olması,
- Halen kullanılan metotlarla çok benzerlik göstermesi.

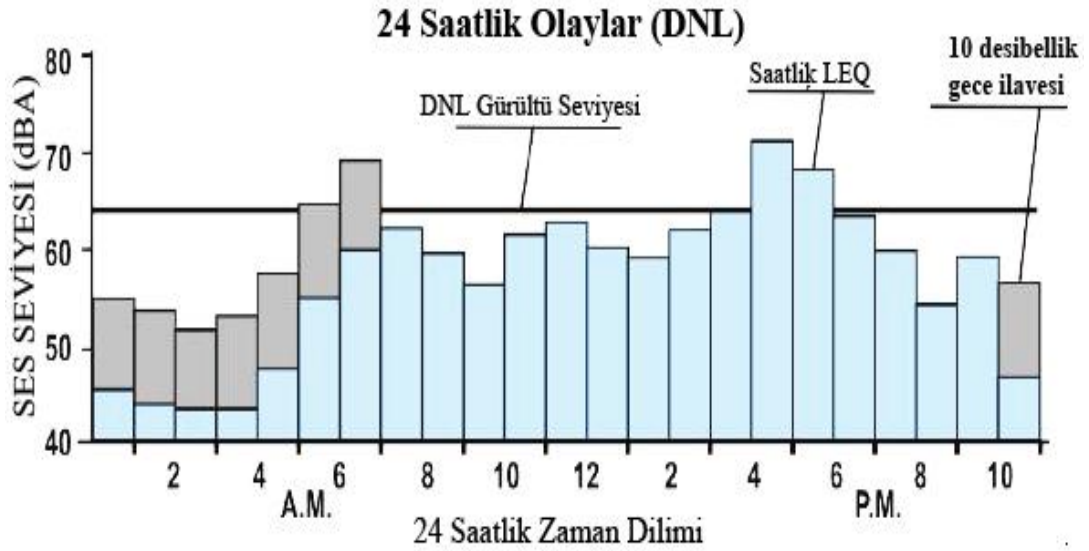
### 2.3.2.5 Gündüz-gece ortalama ses seviyesi (DNL, $L_{den}$ )

DNL göstergesi, 24 saatlik zaman dilimi içindeki A ağırlıklı desibele dayalı 'zaman ağırlıklı' enerji ortalama gürültü seviyesidir. Bu, bütün bir gün boyunca yaşanan genel bir gürültü ölçüsüdür (ESA, 2009). ANSI (1994) verilerine göre DNL, gece süresine 10 dB'lik bir ilave ile eşdeğer sürekli A ağırlık ses basınç seviyesidir. Gece süresi içine 10 dB'lik bir ilave yapılması insanların gece boyunca gürültüye karşı daha hassas olduğu gerçeğini yansıtmaktadır. Saatlik gürültü değeri, gündüz 15 saat için toplanır, 10 dB ilave ile gecenin 9 saat  $L_{eq}$  saatlik rakamlarının toplamına

eklenir. Elde edilen sonuç, belirli bir konum için DNL gürültü seviyesi veya 24 saatlik gürültü seviyelerinin bir özetidir. Uçak gürültü konturları hesaplandığında buna arka plan gürültüsü dahil değildir (ESA, 2009). More (2011), arka plan gürültü seviyesinin gece boyunca daha azalır olmasının uçak etkilerini daha belirgin hale getirdiğini söylemiş ve gece-gündüz ses seviyesini bulmak için aşağıdaki denklemi kullanmıştır:

$$L_{dn} = 10 \log_{10} \left[ (1/24) \left[ 15(10^{L_d/10}) + 9(10^{(L_n+10)/10}) \right] \right] \quad (2.15)$$

Bu denklemdeki,  $L_d$  gün (07.00-22.00) içinde ölçülen ortalama A ağırlıklı ses basınç seviyesi,  $L_n$  ise (22.00-07.00) süresinde ölçülen ortalama A ağırlıklı ses basınç seviyesidir. DNL grafik gösterimi ise Şekil 2.46'da verilmiştir (ESA, 2009).



Şekil 2.46 : 24 saatlik olaylar (DNL) (ESA, 2009)

Demirkale (2007), bir bölgedeki farklı gürültü kaynaklarının ürettiği gürültülerin toplamı ile ilgili olarak bazı tespitlerde bulunmuştur. Bir bölgedeki gürültü çevresi değişik gürültü kaynaklarının birleştirilmesi ile elde edilir. Uçak, otomobil, kamyon ve tren gürültülerinin toplam gündüz-gece ortalama ses düzeylerine (DNL) eklenebilmesi için çalışma tabloları hazırlanır. Her kaynaktaki DNL desibel cinsinden verilmiştir. Bütün kaynaklardan gelen birleştirilmiş DNL bölgenin DNL'idir ve gürültü çevresinin kabul edilebilirliğinin belirlenmesinde kullanılır. Desibel cinsinden ses düzeyleri normal toplama yolu ile eklenmez. Aşağıdaki çizelgede ses düzeylerinin nasıl toplandığı gösterilmektedir.

**Çizelge 2.4 :** Farklı kaynakların DNL değerlerinin toplanması (Demirkale, 2007).

Ses Düzeyindeki Fark	Büyük Seviyeye Ekle
0	3
1	2,5
2	2,1
3	1,8
4	1,5
5	1,2
6	1
7	0,8
8	0,6
9	0,5
10	0,4
12	0,3
14	0,2
16	0,1
16'dan büyük	0

FAA 150/5020-1 (1983), gürültü değerlendirmesi için DNL'i kabul ederken; EPA (2009) toplum ve havalimanı gürültüsünün değerlendirilmesinde DNL'i kullanır. 1973 yılında, ABD Çevre Koruma Ajansı (USEPA), halk sağlığı ve sosyal bir kriter olarak gürültü için Gece-Gündüz Ortalama Ses Seviyesi (DNL,  $L_{dn}$ )'ni önermiştir. Daha yakın bir zamanda ise, Avrupa Birliği, gürültü etkilerinin değerlendirilmesi için ortak bir gürültü tanımlayıcısı olarak  $L_{den}$ 'i kullanmaya başlamıştır (More,2011).

More (2011), Avrupa'da kullanılan DENL'in DNL benzeri bir uçak gürültü değerlendirme kriteri olduğunu belirtmiştir. Ancak burada akşam için yapılan ek bir

ağırlıklandırma vardır. DENL, A ağırlıklı ses basınç seviyesine dayanır ve aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

$$L_{den}=10\log_{10} \left[ (1/24) \left[ 12(10^{L_d/10}) + 3(10^{(L_e+5)/10}) + 9(10^{(L_n+10)/10}) \right] \right] \quad (2.16)$$

Bu denklemde bulunan,  $L_d$  gün (07.00-19.00) içinde ölçülen ortalama A-ağırlıklı ses basınç seviyesi,  $L_e$  akşam (19.00-22.00) içinde ölçülen ortalama A-ağırlıklı ses basınç seviyesi,  $L_n$  ise gece (22.00-07.00) süresinde ölçülen ortalama A-ağırlıklı ses basınç seviyesidir (Akşam ve gece süresi zaman aralığı ülkeler arasında farklılıklar gösterebilir).





### **3. GÜRÜLTÜ KONTROLÜ İLE İLGİLİ ULUSAL VE ULUSLARARASI YÖNETMELİKLER VE HESAPLAMA YÖNTEMLERİ**

#### **3.1 Türkiye'de Gürültü İle İlgili Yönetmelik**

Gürültü, gün geçtikçe insan sağlığını psikolojik ve fizyolojik açıdan daha çok tehdit eder hale gelmiştir. Bunun bir getirisi olarak tüm dünyada gürültüye karşı hassasiyet artmış, ülkeler hazırladıkları yönetmelik ve standartlar ile gürültüyü zararsız seviyelere indirmek ya da tamamen yok etmek için çeşitli yöntemler geliştirmişlerdir.

Ülkemizde de gürültü ile ilgili kullanılan kanun ve yönetmelikler vardır. Türkiye Cumhuriyeti Anayasası'nın 56.maddesine göre 'Herkes sağlıklı ve dengeli bir çevrede yaşama hakkına sahiptir. Çevreyi geliştirmek, çevre sağlığını korumak ve çevre kirliliğini önlemek devletin ve vatandaşların görevidir.' 1983 yılında 18132 sayılı resmi gazetede yayınlanan 2872 sayılı Çevre Kanunu'nun 14'üncü maddesine göre, kişilerin huzur ve sükununu, beden ve ruh sağlığını bozacak şekilde ilgili yönetmelikler ile belirlenen standartlar üzerinde gürültü ve titreşim oluşturulması yasaklanmıştır (Çevre Kanunu, 1983).

Çevre Kanunu'nun 14'üncü maddesine istinaden 1986 tarihinde yürürlüğe giren Gürültü Kontrol Yönetmeliği gürültü kontrolünü; kaynak, alıcı ve çevre olmak üzere bütüncül olarak değerlendiren ilk yasal düzenlemedir. Söz konusu yönetmelik ile, kaynak, alıcı ve çevre gürültüsüne sınırlamalar getirilmiştir. Yönetmeliğin uygulanmasından valilikler ve belediyeler sorumlu tutulmuştur (Aşçıgil, 2009).

'Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği', 1986 yılından beri yürürlükte olan Gürültü Kontrol Yönetmeliği'ndeki eksiklikleri ve sorunları gidermek amacı ile 25/6/2002 ve 2002/49/EC Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Direktifine paralel olarak 1 Temmuz 2005 yılında yürürlüğe girmiş, 4 Haziran 2010 yılında da yenilenmiştir.

Bu Yönetmeliğin amacı; çevresel gürültüye maruz kalınması sonucu kişilerin huzur ve sükûnunun, beden ve ruh sağlığının bozulmaması için gerekli tedbirlerin alınmasını sağlamak ve kademeli olarak uygulamaya konulmak üzere; değerlendirme

yöntemleri kullanılarak çevresel gürültüye maruz kalma seviyelerinin, hazırlanacak gürültü haritaları, akustik rapor ve çevresel gürültü seviyesi değerlendirme raporu ile belirlenmesi, çevresel gürültü ve etkileri hakkında kamuoyunun bilgilendirilmesi, gürültü haritaları, akustik rapor ve çevresel gürültü seviyesi değerlendirme raporu sonuçları esas alınarak; özellikle çevresel gürültüye maruz kalma seviyelerinin insan sağlığı üzerinde zararlı etkilere sebep olabileceği ve çevresel gürültü kalitesini korumanın gerekli olduğu yerlerde, gürültüyü önleme ve azaltmaya yönelik eylem planlarının hazırlanması ve bu planların uygulanması ile ilgili usul ve esasları belirlemektir (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010).

### **3.1.1 Çevresel gürültü esas ve kriterleri**

Stratejik gürültü haritalarını hazırlama veya revize etme çalışmaları sırasında  $L_{gag}$  ve  $L_{gece}$  gürültü göstergeleri kullanılır. Bunun dışında, akustik rapor hazırlama, akustik hususların planlanması ve gürültü bölgeleme ve diğer çalışmalar için  $L_{gag}$  ve  $L_{gece}$  dışında farklı göstergeler de kullanılabilir. Mevcut gürültü düzeyinin toplum üzerindeki etkilenme derecesi ve gürültünün günlük yaşamda çeşitli eylemler üzerinde olabilecek zararlı etkileri ve çevresel gürültü sınır değerleri doz-etki ilişkileri kullanılarak tespit edilir.

Havaalanların çevreye yayılan gürültü seviyesi ve gürültünün önlenmesine ilişkin kriterler Çizelge 3.1'de belirtilmiştir. Ambulans helikopterleri hariç, helikopter iniş pistinden çevreye yayılan gürültü seviyesi  $L_{gündüz}$  65 dBA,  $L_{akşam}$  60 dBA ve  $L_{gece}$  50 dBA değerlerini aşamaz. Yılda elli binden fazla iniş/kalkış gerçekleşen havaalanlarında Ulaştırma Bakanlığı tarafından; havalimanı çevresinde çevresel gürültü seviyesini tespit etmek amacıyla gürültü ölçüm/kontrol/izleme sistemi kurulur.

### **3.1.2 Stratejik gürültü haritalama esas ve kriterleri ile eylem planları**

İki yüz elli binden fazla yerleşik nüfusu olan yerleşim alanları, yılda altı milyondan fazla aracın geçtiği ana kara yolları, yılda altmış binden fazla trenin geçtiği ana demir yolları ve yılda elli binden fazla hareketin gerçekleştiği ana hava alanları için en geç 30/6/2013 tarihine kadar bir önceki takvim yılındaki durumu gösteren stratejik gürültü haritaları hazırlanmalıdır.

**Çizelge 3.1 : Havalimanı gürültü değerleri (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010).**

Alanlar	Küçük havaalanları (yılda elli binin altında iniş/kalkışın olduğu havaalanları)			Büyük havaalanları (yılda elli bin ve üstü iniş/kalkışın olduğu hava alanları)		
	L <sub>gündüz</sub> (dBA)	L <sub>akşam</sub> (dBA)	L <sub>gece</sub> (dBA)	L <sub>gündüz</sub> (dBA)	L <sub>akşam</sub> (dBA)	L <sub>gece</sub> (dBA)
Gürültüye hassas kullanımlardan eğitim, kültür ve sağlık alanları ile yazlık ve kamp yerlerinin ağırlıklı olduğu alanlar	63	58	53	65	60	55
Ticari yapılar ile gürültüye hassas kullanımların birlikte bulunduğu alanlardan konutların yoğun olarak bulunduğu alanlar	65	60	55	68	63	58
Ticari yapılar ile gürültüye hassas kullanımların birlikte bulunduğu alanlardan işyerlerinin yoğun olarak bulunduğu alanlar	67	62	57	72	67	62
Endüstriyel alanlar	70	65	60	75	70	65

İki yüz elli binden fazla yerleşik nüfusa sahip olan yerleşim alanları ve yüz binden fazla yerleşik nüfusu olan yerleşim alanları için hazırlanacak gürültü haritaları; karayolu, demiryolu, havayolu trafik gürültüsü ile limanlar, sanayi alanları, atölye-imalathane-eğlence yerleri ve benzeri işletmelerin bulunduğu alanlar için ayrı ayrı yapılmalıdır.

Stratejik gürültü haritaları; bir gürültü göstergesi cinsinden mevcut/önceki/öngörülen bir gürültü durumunu, bir sınır değerinin aşılmasını, bir gürültü göstergesinin belirli değerlerine maruz kalan belli bir alandaki konut/okul/hastane tahmini sayısını, gürültüye maruz kalan bir alandaki tahmini insan sayısını içermek durumundadır.

Yerel veya ulusal uygulamalara yönelik stratejik gürültü haritalarınının, 4m'lik bir değer tayin yükseklikte 5dB'lik L<sub>gag</sub> ve L<sub>gece</sub> aralıkları ile yapılması zorunludur. Yerleşim alanları için karayolu ve demiryolu trafik gürültüsü ile hava aracı gürültüsü ve endüstriyel gürültüler için ayrı ayrı stratejik gürültü haritalarınının yapılması zorunludur. Diğer kaynaklar için haritalar eklenebilir (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010).

Yılda altı milyondan fazla aracın geçtiği ana kara yolları, yılda altmış binden fazla trenin geçtiği ana demir yolları, ana havaalanları ve yakınındaki yerler ile iki yüz elli binden fazla yerleşik nüfusu olan yerleşim alanları için gerektiği takdirde en geç 18/7/2014 tarihine kadar gürültü seviyesinin azaltılması da dahil olmak üzere gürültü ile ilgili hususlar ve gürültünün etkileri ile baş etmeye yönelik eylem planlarının hazırlanmış olması gerekmektedir.

Her eylem planının, etkilenen (rahatsız edilen, uykusu bozulan veya başka türlü) insan sayısındaki azalma cinsinden ifade edilen tahminleri içermesi gereklidir (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010).

### 3.1.3 Yönetmelikte geçen gürültü göstergeleri

Gündüz, akşam ve seviyesi  $L_{gag}$ ; desibel A (dBA) olarak gündüz-akşam-gece seviyelerini aşağıda verilen formül ile ifade edilmiştir.

$$L_{gag} = \frac{1}{24} \left[ 12x10^{\frac{L_{gündüz}}{10}} + 4x10^{\frac{L_{akşam+5}}{10}} + 8x10^{\frac{L_{gece+10}}{10}} \right] \quad (3.1)$$

Formülde;

$L_{gündüz}$ , TS ISO 1996-2'de tanımlandığı gibi A ağırlıklı uzun dönem ses seviyesinin enerji ortalaması olup, yılın gündüz zaman diliminin tamamına göre belirlenmiştir. Gündüz zaman dilimi 07.00-19.00 arası olmak üzere 12 saattir.

$L_{akşam}$ , TS ISO 1996-2'de tanımlandığı gibi A ağırlıklı uzun dönem ses seviyesinin enerji ortalaması olup, yılın akşam zaman diliminin tamamına göre belirlenmiştir. Akşam zaman dilimi 19.00-23.00 arası olmak üzere 4 saattir.

$L_{gece}$ , TS ISO 1996-2'de tanımlandığı gibi A ağırlıklı uzun dönem ses seviyesinin enerji ortalaması olup, yılın gece zaman diliminin tamamına göre belirlenmiştir. Gece zaman dilimi 23.00-07.00 arası olmak üzere 12 saattir.

Değerlendirilmekte olan konut cephesinden yansıyan sesin hesaba katılmadığı sesler (bu genel bir kural olarak bir ölçüm halinde 3dB'lik bir düzeltme yapılmasını gerektirir) tesadüfi ses olarak tanımlanır.  $L_{gag}$  tayin noktasının yüksekliği uygulamaya göre değişir.

Bir bina içerisinde veya civarında gürültüye maruz kalma ile ilgili olarak stratejik gürültü haritası yapmak amacıyla hesaplamalar yapılması durumunda, gürültüye en fazla maruz kalan cephedeki tayin noktasının zeminden  $4.0 \pm 0,2m$  (3.8m ile 4.2m

arası) yukarıda olması zorunludur. Bu amaca yönelik gürültü yayan kaynağa dönük ve en yakın olan dış duvarın gürültüye en fazla maruz kalan cephe olarak kabul edilmesi gereklidir. Başka amaçlar için başka tercihler yapılması mümkündür.

Bir bina içinde veya civarında gürültüye maruz kalma ile ilgili olarak stratejik gürültü ölçümleri uygulamak için yapılacak ölçümlerde daha farklı yüksekliklerin de seçilmesi mümkündür. Ancak seçilecek değerlendirme noktasının yüksekliği hiçbir zaman zemine 1.5m mesafesinin altında olmamalıdır ve ölçüm sonuçları üzerinde 4.0m'lik eşdeğer yüksekliğe göre düzeltme yapılmalıdır.

Akustik planlama ve gürültü bölgeleme gibi başka amaçlar için başka yüksekliklerin seçilmesi mümkündür. Ancak bu yükseklikler hiçbir zaman zeminden 1.5m yükseklik seviyesinden düşük olamaz. Örneğin; tek katlı evlerin bulunduğu kırsal alanlar, belirli konut alanları üzerindeki gürültü etkisini indirmeye yönelik yerel tedbirleri tasarlamak, sınırlı bir alandaki her bir konutun maruz kaldığı gürültü seviyesini gösteren ayrıntılı bir gürültü haritası hazırlamak.

Bazı hallerde  $L_{gag}$  ve  $L_{gece}$  ve uygun bulunan hallerde  $L_{gündüz}$ ,  $L_{akşam}$  ve  $L_{eq}$ 'ya ilave olarak özel gürültü göstergeleri ile bunlarla ilgili dördüncü bölümde yer alan sınır değerlerin kullanılması yararlı olabilir.

### 3.1.4 Gürültü göstergeleri için değerlendirme yöntemleri

Bir yapı cephesi veya bir başka yansıtıcı eleman önünde yapılan ölçüm verileri, bu cephe veya elemandan yansımaların yol açtığı artıştan arındırmak amacıyla düzeltilmesi zorunludur (Bu işlem genel bir kural olarak, ölçülen değerde 3 dB düzeltme yapılmasını gerektirir).

Yerleşim alanı gürültü haritasının ve eylem planlarının hazırlanması safhasında  $L_{gündüz}$  ve  $L_{gag}$  için aşağıda yer alan seviye ayarlamaları yapılabilir. Sadece her bir kaynak bazında değerlendirme yapılacaksa seviye ayarlamasına gerek yoktur.

- a. Endüstri için: 0
- b. Karayolu için: 0
- c. Uçak için: 3
- d. Demiryolu için: -3 eklenerek seviye ayarlaması yapılır

Ölçülen ya da hesaplamayla bulunan gürültü değerine, gürültünün türüne ya da belirgin olarak duyulan bir frekansın varlığına bağlı olarak seviye ayarlaması yapılır. Bu yönetmeliğin 4.maddesi (üü) bendinde yer alan sınır değer tanımı ile ilgili olarak; kara yolu, demir yolu, hava yolu trafiği gürültüleri, sanayi menşeli gürültüler ve benzeri gibi farklı gürültü türleri, farklı alanlar ve nüfusların farklı gürültü hassasiyetleri için, farklı sınır değerler olabilir. Bu sınır değerler, gürültü kaynağı veya muhitin kullanım maksadı açısından bir değişiklik olması halinde, mevcut ve yeni durumlar için de farklılık gösterebilir (Çevre ve Orman Bakanlığı, 2010).

Yönetmelik kapsamında, havalimanı gürültüsü için 1997 tarihli ECAC.CEAC.Doc 29 Sivil Hava Alanları Etrafındaki Gürültü Konturlarını Hesaplamak İçin Standart Yöntem Hakkındaki Rapor esas alınmaktadır (farklı uçuş yolu modelleme yöntemleri arasında ECAC.CEAC.Doc29 belgesinin 7.5'inci bölümünde değinilen segmentasyon tekniği kullanılacaktır).

### **3.2 Federal Havacılık Yönetmeliği - FAA 150/5020-1**

FAA 150/5020-1 standardı, Federal Havacılık Yönetmeliği (FAR) Bölüm 150 ve Havacılık Güvenliği ve Gürültü Azaltım Yasası 1979 (ASNA) kapsamında, havaalanları için gürültü kontrolü ve uyumluluk planlamasına rehberlik etmesi amacıyla hazırlanmıştır. Havaalanı işletmecileri, devlet/yerel planlamacılar ve gürültü kontrol planlaması ile ilgilenen vatandaşlar tarafından kullanılmaktadır.

Havaalanı Gürültü Uyumluluk Planlama Programı Part 150, gürültü planlama ve uygulama için ideal bir araç sunmaktadır. Buna göre;

- a. Havacılık ve havacılık dışı çıkarlar için adil, gerçekçi ve pratik çözümler üreten dengeli bir yaklaşımı,
- b. Bölgesel ve havalimanı bölge ofisleri aracılığıyla FAA teknik rehberliğini,
- c. Federal olarak belirlenen arazılar için normal kullanım ve gürültüye maruz kalma arasındaki ilişkiyi,
- d. Yerel arazi kullanım kararlarını güçlü ölçüde etkileyecek, havalimanı işletmecisinin kontrolü dışındaki faktörlerin tanınmasını,

e.Gürültü uyumluluk planlaması ve planların uygulanması için Havalimanı Geliştirme Programı kapsamında havalimanı işletmecisine mevcut federal mali yardımı,

f. FAA gürültü uyumluluğu onaylanmış programlar doğrultusunda, projeleri yürütmek için havalimanını çevreleyen bölgelerdeki yerel yönetim birimlerinde mevcut olan federal mali yardımları kapsar.

### ***Gürültü Kontur Geçerliliği***

Bir çok gürültü ölçüm programının temel amaçlarından biri bilgisayar ile oluşturulan gürültü konturlarının doğrulamasını yapmaktır. Aşağıda listelenen birkaç önemli kavramın anlaşılması kümülatif gürültü maruziyet tahmin teknikleri için temel sağlamaktadır:

a.Yıllık ortalama havalimanı gürültü maruziyet konturları, gerçek havalimanı gürültü maruziyet tahminini ortaya koyar.

b.Zemin üzerinde herhangi bir noktadaki gerçek havalimanı gürültü maruziyeti, o nokta için Ldn değerlerinin yaklaşık enerji ortalaması olabilir.

c.Herhangi bir yer için gerçek günlük Ldn değeri günden güne değişir. Washington Ulusal Havalimanı ve Dulles Uluslararası Havalimanı'ndan elde edilen veriler, Ldn standart sapmalarının genellikle 2 dB veya daha az olduğunu gösterir.

d.Günlük 2 dB Ldn standart sapmaları için, 10 günlük (Ldn) bir örnek yüzde 90 güvenilirlik ile 1 dB içinde doğru ve gerçek yıllık Ldn tahmini sağlamak için basit istatistik teori verilebilir.

e.Yıllık  $L_{dn}$  değerini tahmin etmek için bir yol, rastgele 10 günlük 24 saatlik ölçüm anketleri yapmaktır. Ölçüm cihazları ile üç günlük  $L_{dn}$  değerini ölçmek mümkündür.

f.Bir günlük Ldn verilerini elde etmek için 24 saat sürekli ölçümlerin gerçekleştirilmesi yine, daha kısa bir örnek ile Ldn tahmini yapmak mümkündür. Tahmin yöntemi dikkatlice belgelenmiş olmalıdır. 10 temsili gün şartı yıllık ortalama Ldn tahmini için bir gereklilik olmaya devam etmektedir. İki 'daha kısa 24 saat' örnekleme tekniği mevcuttur. Birincisi, bir uçak ve uçak sayısının bir karışımı günlük ortalama değerleri temsil ettiği bir süre boyunca gürültü ölçümünü içerir. Hesaplamalarda, Ldn tahminine ulaşmak için gece ağırlığı ve mevcut gece operasyonları hesabına ihtiyaç duyulmaktadır. İkinci teknik, uçak tipine göre

ortalama tek bir olay LAE'nin değerlerini belirmesini içerir. Ortalama LAE verileri belirli bir uçak tipi için yıllık ortalama değişkenliği yansıtılmaktadır. Sonrasında yıllık ortalama  $L_{dn}$ , havalimanı bilgileri ve günlük operasyon programı ile birlikte ortalama LAE verilerinden hesaplanır. Ancak bu teknik cevaplaması zor bazı sorular içerir:

- Her bir uçak tipi için ne kadar ölüm yapılması gereklidir?
- Herhangi bir gün için ne kadar ölüm yapılmalıdır?
- rnek olarak kaç gün alınmalıdır?

İstatistiksel mantığın tanımlamadaki zorluğundan dolayı, açıklanan ilk tekniğin kullanılması tercih edilir.

şekil 3.1'de gösterilen akış şeması, FAA gürültü konturu refine etme sürecini ortaya koymaktadır.

Bir havalimanı gürültü uyumluluk programının bir parçası olarak stlenilebilen ve etkinliği geliştirmek için isteğe bağlı çeşitli önlemler vardır. Sürekli havalimanı gürültü izleme sistemleri bu kategoriye girer. Bu tür sistemler rafine havalimanı gürültü kontur sürecine önemli girdiler sağlayabilirler. Kısaca; herhangi bir FAA tarafından onaylanmış gürültü izleme sistemi, aşağıdaki parametreleri içermelidir:

Her bölgede dBA sürekli lm

Saatlik  $L_{eq}$  verileri

Günlük  $L_{dn}$  verileri

Tek bir olay azami A ağırlıklı ses düzeyi verileri

İstenen ama zaruri olmayan özellikler ise şunlardır:

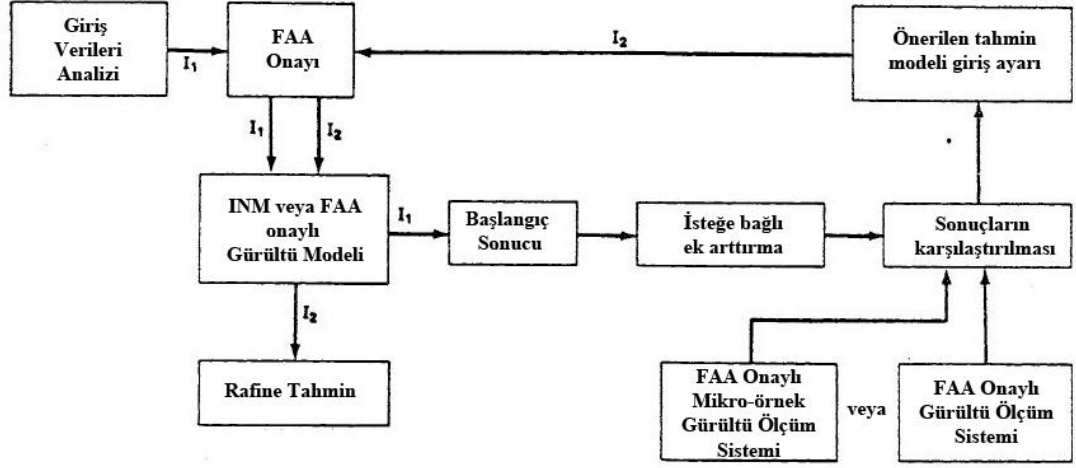
Uçak olayı ayırım yeteneği

Her bir uçak operasyonu için tek bir olay  $L_{AE}$  verisi

Saatlik  $L_{eq}$  ve  $L_{dn}$  için uçak ve ortam katkısı farkı

Her uçak tipi için gürültü düzeylerinin istatistiksel veri tabanını geliştirmek için izleme verilerinin kullanılabilirliği.





Şekil 3.1 : Uçak gürültü maruziyeti tahmini diyagramı (FAA 150/5020-1, 1983)

### 3.3 ECAC.CEAC Doc 29 - Sivil Havalimanları Çevresindeki Gürültü Konturlarının Hesaplanması İçin Standart Yöntem Raporu

Havalimanı gürültü planları hazırlanmasını takiben Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü'nün gerekli gördüğü ve Ulaştırma Bakanlığı'nca uygun görülen havaalanlarında Ulaştırma Bakanlığı'nca hava araçlarının az gürültülü iniş ve kalkış biçimleri belirlenir. Hava aracı ve havaalanları için gürültü konusunda belirlenecek her türlü metot, standart ve kararlarda Ulaştırma Bakanlığı ile iş birliği yapılır. Her ülkenin kendisine ait farklı kriterleri olsa da Türkiye'de, Avrupa Birliği tarafından hazırlanmış Avrupa Civil Havacılık Konferansı (ECAC) CEAC Doc 29 havalimanı gürültü kontrolleri ve ölçümlerinde referans kaynak olarak kullanılır. Aşağıda, belirtilen dökümanda bulunan bazı gürültü ölçüm kriterlerinden bahsedilmektedir.

#### 3.3.1 Konturların hesaplanması

Bir havalimanı gürültü çalışması için hesaplamalar aşağıdaki gibidir:

- Havalimanı çevresindeki gözlem noktalarında, her bir uçak hareketi için gürültü seviyelerinin belirlenmesi;
- Seçilen gürültü indeksi formülasyonuna göre, ek olarak veya ilgili noktalarda bireysel gürültü seviyelerinin kombinasyonu; ve
- Ara değer (interpolasyon) ve seçilen gösterge değerleri çizgilerinin çizilmesi.

Çalışma ve işletme detayları uçak hareketlerinin sayısını içermelidir. Açıkçası, bir grup hesaplanan gürültü konturu, temel aldığı trafik varsayımları için geçerlidir. Tüm

havaalanlarında, günden güne değişen operasyon modelleri hava, planlama ve birçok dış faktöre bağlıdır. Genel olarak kontur şeklinde hesaplanan gürültü göstergesi, genellikle bir aylık bir süre boyunca, uzun vadeli bir günlük ortalama değerler olarak tanımlanır.

Gürültü-güç-mesafe verilerinden, düz arazi varsayılarak, verilen atmosferik koşullarda bireysel hareketler için gürültü seviyeleri hesaplanır. Gürültü veri şartları, yıllık ortalama konturlar için atmosferik zayıflama oranları olarak tanımlanır. Performans verileri, atmosferik sıcaklık ve nem ile havalimanı yüksekliği ve rüzgar hızı olarak tanımlanır. Bununla birlikte, hesaplanan gürültü konturları, uzun bir süre boyunca ortalama koşullar göz önüne alınarak aynı temel veri koşulları ile belirtilen aralıklar üzerinde uygulamak için varsayılmıştır. Sunum şekli, uçak verisi türetilmesi ve referans koşulları ilgili dökümanın 4'üncü bölümünde verilmiştir.

Bahsedilen 4'üncü bölümde bulunan gürültü verileri için iki gürültü tanımlayıcısı vardır. Bunlar, bir uçak hareketi sırasında bazı anlarda meydana gelen maksimum A ağırlıklı ses basınç seviyesi ve uçak hareketi sırasında A ağırlıklı ses basıncının karesi zamanla entegre ses maruziyet seviyesi (SEL)'dir.

Bir havalimanında bir grup gürültü konturu üretmek için, hesaplama işlemi aşağıdaki bilgileri içerir:

- a. Havalimanında faaliyet gösteren uçak tipleri;
- b. İlgili dökümanın 4'üncü bölümündeki özelliklere uygun olarak tedarik edilen uçak türlerinin her biri için gürültü ve performans verileri;
- c. Nominal zemin parçaları arasındaki dağılıma dahil iniş ve kalkış yapan uçakların izlediği rotalar;
- d. Hesaplama için seçilen dönem içinde, her hareket için günün zamanı ve uçak tipine göre operasyon sayısı;
- e. Operasyon verisi ve her bir güzergaha ilişkin uçuş prosedürleri;
- f. Havalimanı verileri (ortalama meteorolojik koşullar, pist sayısı ve uyumu da dahil)

### ***Bireysel uçak hareketlerinin gürültüsü***

Bir iniş veya kalkış rotası hareketleri için, uçak konum bilgisi ve düzeltilmiş motor gücü, çeşitli uçuş operasyonu segmentleri boyunca hesaplanır. Havalimanı etrafında

zemin için düzenlenmiş bir ızgara üzerinde seçilen bir noktadan (koordinatlar x,y), ilgili uçuş yoluna en kısa mesafe hesaplanır ve mesafe (d) ve itme (ξ) için gürültü verileri (L) interpolasyonu söz konusudur. Uçak konum bilgisi, pratikte oluşan hatalı parça nedeniyle nominal yola göre belirli bir durumda, gerçek zemin parçasında yanal değişme için izin vermelidir. Düzeltmeler, kalkış zemin silindiri (ΔL) başlangıcı arkasındaki bir direktivite için uçak yönüne göre yanal yayılım esnasında sesin zayıflaması  $\Lambda(\beta, l)$  ve ses maruziyet düzeyindeki uçak hızı (ΔV) ve uçağın dönüşü esnasındaki en yüksek gürültü seviyesinde (ΔT) değişiklik olması durumu için uygulanır. Bu nedenle, her bir uçak hareketi için ayrı ayrı ızgara üzerindeki noktada L(x,y) gürültü seviyesi elde edilir. Hesaplama aşağıdaki denklem ile yapılır:

$$L(x, y) = L(\xi, d) + \Lambda(\beta, l) + \Delta_L + \Delta_V + \Delta_T \quad (3.2)$$

ΔL, her nokta için sıfır iken yalnızca kalkış zemin parçasının başlangıcının arkasında iken değerlendirilir; ΔV ve ΔT, L ses maruziyet düzeyi olduğunda değerlendirilir.

Yukarıdaki işlem, daha sonra gürültü konturları hesaplanacak olan her noktada, tüm uçak türlerinin, tüm hareketleri için tekrar edilir. Bir havalimanı gürültü çalışması, uçuş profilleri ve gürültü seviyelerini hesaplarken, ayrı ayrı her uçak tipi için hesaba uygun olmayabilir. Bu gibi durumlarda, benzer gürültü karakteristikleri ve benzer performansa sahip uçak tipleri kategorize edilebilir.

### 3.3.2 Kullanılacak olan uçak gürültü ve performans bilgileri formatı

'Temel' gürültü ve sabit kanatlı bir uçakla ilişkili uçak performans bilgileri çerçevesinde, havalimanı çevresindeki uçak gürültü konturlarının hesaplanmasında kullanılmak üzere gereken veriler aşağıda açıklanmaktadır.

#### 3.3.2.1 Gürültü güç mesafe verileri

Gürültü verileri, maksimum A ağırlıklı ses basınç düzeyi ( $LA_{max}$ ) ve ses maruziyet düzeyi (SEL/ $L_{AE}$ ) olarak sağlanmalıdır. Ses maruziyet düzeyi (SEL/ $L_{AE}$ ) aşağıdaki formül ile tanımlanmıştır:

$$L_{AE} = 10 \log \left\{ (1/t_0) \int_{t_1}^{t_2} [p_A^2(t)/p_0^2] dt \right\} \quad (3.3)$$

$p_A(t)$  anlık A ağırlıklı ses basıncı ve  $(t_2-t_1)$  olayın tüm önemli ses durumunu kapsayan zaman aralığı ise;  $p_0$ , referans ses basıncı (20mPa) ve  $t_0$  referans süre (1sn)'dir.

## Uçuş süresi gürültü verileri

Uçuş süresi gürültü verileri aşağıdaki parametreleri içermektedir:

- a. Bir havalimanının çok yakınında bulunan ve uçuş işlemleri sırasında uçak üzerinde seçilecek muhtemel tüm değerleri kapsayan itme ile ilgili gürültü parametre değerleri; ve
- b.  $LA_{max}=65$  dB ve  $SEL=70$  dB gürültü seviyeleri için 80m ile maksimum seviye arasında değişen uçuş yolu dik mesafeleri

## Veri türetilmesi

Veriler mümkünse kontrollü koşullarda yapılan testlerin sonuçlarına dayalı ve uçak gürültüsü sertifikasyonu amacıyla edinilen veriler ile karşılaştırılabilir olmalıdır. Kontrollü üstten uçuş gürültü testleri sırasında, uçuş yolu boyunca uçağın pozisyonu ölçülür ve ses kayıtları ile senkronize edilir. Uçağın motor gücü ayarı, kanat sapması, iniş takımı ayarı, ve hava hızı her ses kayıt süresi boyunca nominal sabit değerler tutulur.

$L_{Amax}$  ve  $L_{AE}$  hesaplanması için, ölçülen uçağın ses verileri 20 micropascals bir referans basınç ile göreceli desibel ses basıncı düzeyleri 1/3oktav banta indirgenir. Ses basınç düzeyleri her üstten uçuşun ses kayıt süresi boyunca 0,5 sn aralıklarla 50 ile 10 000 Hz arasında değişen merkez frekansları ile 24 1/3 oktav bantları için elde edilir. Alet kalibrasyon ve arka plan gürültü kirliliği için düzeltme yapıldıktan sonra, ölçülen 1/3oktav bant ses basıncı düzeyleri Çizelge 3.2'deki zayıflama oranları ile uygun şekilde ayarlanır. Çizelge 3.2'de verilen zayıflatma oranları 25°C ve %70 bağıl nem demektir.

Birçok jet ve pervaneli uçak için, gürültü ölçümlerinde tercih edilen nominal uçuş yüksekliği her motor güç ayarında 300m'dir. Ancak pratikte ölçüm yüksekliği genellikle her uçak tipi için değiştiğinden 100m ile 800m arasında değişebilir.

Ölçülen uçak gürültü verileri, bazen bir motor gücü başına yalnızca bir mesafe için kullanılabilir. Bu nedenle genel bir gürültü-güç-mesafe tablosu oluşturmak için çeşitli ayarlamalar yapmak gereklidir. Mevcut verilerin kapsamı uçak tipleri arasında farklılıklar oluşturacaktır.

**Çizelge 3.2 : Zayıflatma oranı (ECAC.CEAC Doc. 29, 1997).**

<b>1/3 Oktav bant merkez frekansı (Hz)</b>	<b>Zayıflatma Oranları</b>
50	0.033
63	0.033
80	0.033
100	0.066
125	0.066
160	0.098
200	0.131
250	0.131
315	0.197
400	0.230
500	0.295
630	0.361
800	0.459
1 000	0.590
1 250	0.754
1 600	0.983
2 000	1.311
2 500	1.705
3 150	2.295
4 000	3.115
5 000	3.607
6 300	5.246
8 000	7.213
10 000	9.836

**Veri geçerliliği için atmosferik koşullar aralığı**

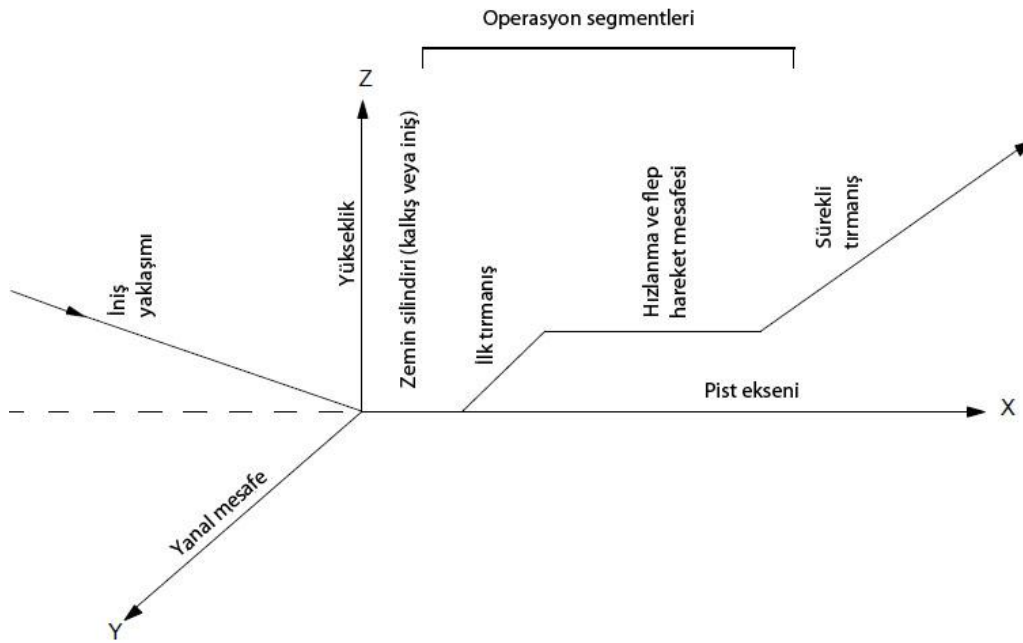
Havalimanı gürültü seviyeleri ve ölçülen veri tahminlerinin karşılaştırılması, gürültü-güç-mesafe verilerine uygun olarak elde edilen yüzeye yakın uzun dönem ortalama koşullarda, bir uçuş süresi boyunca uygun olduğu tahmin edilebilir. Bu uçuş süresi koşulları aşağıdaki gibi tanımlanır:

- 30 dereceden az hava sıcaklığı
- Hava sıcaklığı ve bağıl nem yüzdesinin 500'den büyük olması
- 8m/sn (15 knots)'den az rüzgar hızı

Yukarıda tanımlanan uçuş koşulları dünyanın en büyük havaalanlarında karşılaşılan şartları kapsayacak şekilde ortalama yerel koşullar için kabul edilebilir. Ortalama yerel koşulların dışında kalan durumlar için, ilgili uçak üreticilerine danışılması önerilmektedir.

### 3.3.2.2 Performans verisi

Uçak uçuş profilleri, gözlem noktalarından uçuş yollarına olan eğik mesafelerin tespitine imkan vermek için gereklidir. Uçuş yolu boyunca itme veya diğer gürültü parametreleri ve uçağın hız varyasyonları da gereklidir. Eğik mesafe ve itmeler, gürültü-güç-mesafe veri interpolasyonu için kullanılır. Gürültü kontur hesaplamaları için, kalkış ve iniş uçuş yolları Şekil 3.2'de gösterildiği gibi bir grup düz çizgi parçaları ile temsil edilmektedir. Uçağın zemin parçaları da düz çizgi ve yaylar ile temsil edilmektedir.



Şekil 3.2 : Performans hesaplamaları için tipik uçuş yolu segmenti (ECAC.CEAC Doc.29, 1997).

Uçuş profilleri, motor itmeleri ve uçak uçuş hızları, referans uçuş prosedürlerini içeren bir uçak tipi için doğrudan temin edilebilir. Ardından, gerçek prosedürleri bilinmeyen bir havalimanındaki operasyonlar için bu başvuru prosedürleri kabul edilebilir. Kullanılmak üzere bilinen diğer prosedürler veya uçağın farklı işletim koşulları, aerodinamik ve itme denklemleri kullanılarak hesaplanabilir. Denklemlerde motor ve uçağın her bir kombinasyonu için kullanılabilen sabit katsayılar bulunur. Yükseklik, sıcaklık, rüzgar, uçak kütlesi ve toplam net itme ile uçağın performansı ile ilgili katsayılar aşağıdaki gibidir:

P kalkış katsayısı

Q Uçuş hızı katsayısı

R Tırmanış/İniş katsayısı

Uçuş hızı, yükseklik ve ortam sıcaklığı belirli bir güç ayarı (örneğin, "kalkış gücü" ya da "normal tırmanış gücü" gibi bir ifade ile motor performansını temsil eden) için ilgili itme / gürültü parametresi ilgili katsayılar aşağıdaki gibidir:

$E_{\xi}$  İtme/sürekli gürültü

$F_{\xi}$  Uçuş hızı katsayısı

$G_{\xi}$  Rakım katsayısı

$H_{\xi}$  Sıcaklık katsayısı

$C_{Mt}$  Pervane ucu makine sayısı katsayısı

Alt simge  $\xi$  yukarıda temsil edilen motorun belirli bir durumda gürültü ile ilgili düzeltilmiş itme parametresidir ( $X_N / \delta$ ,  $N / \sqrt{\Theta}$ ,  $SHP / \delta\sqrt{\Theta}$  veya  $M_t$ ).

Aşağıdaki gibi ilave itme / gürültü katsayıları, itme parametresi ve gürültü "genel" itiş ayarlarında veya itme ve gösterge ayarı ilişkisi arasında ilişki kurmak için kullanılabilir:

$A_v$  Sabit gürültü

$B_v$  İtme katsayısı

$C_v$  Hız/eğim katsayısı

Yukarıda alt simge v'nin ya düzeltilmiş motor parametreleri  $N / \sqrt{\Theta}$ , ya da  $SHP / \delta\sqrt{\Theta}$  veya bir motor gösterge ortamıdır (örneğin EPR ya da EPD gibi).

Tüm uçak performans bilgileri, aşağıdaki referans koşullar için elde edilmelidir:

- ISA atmosferik koşullar,
- Pistin deniz seviyesinden yüksekliği
- Eğimi olmayan pist yüksekliği
- Rüzgar gradyanı yokken 4.1 m/s (8 knots) ile karşıdan esen rüzgar
- Uçağın kalkış kütlesinin maksimum kalkış kütlesinin %85'i olması
- Uçak iniş kütlesinin maksimum iniş kütlesinin %90'ı olması
- Tüm motor operasyonları, ve

- Normal uçak konfigürasyonları

Bir uçak üreticisi aksini belirtmedikçe, performans verileri aşağıdaki gibi alınabilir:

- Hava sıcaklığı 30 dereceden az,
- Herhangi bir pist yüksekliği,
- 8m/sn (15 knots)'den az rüzgar hızı,
- Tüm operasyonel uçak kütleleri

### **3.3.3 Uçak tiplerinin gruplandırılması**

Havalimanı gürültü çalışmaları sırasında, havalimanında operasyonu gerçekleştiren her bir uçak türü hesaplamaya katılırsa elde edilen sonuçların muazzam olacağı belirtilmiştir. Bazı uçakların gürültü verileri de mevcut değildir. Uygulama sırasında uçakları gruplamanın gerekli olduğu ancak bu çalışmanın titizlikle yapılması gerektiği söylenmektedir.

Genellikle ticari ve/veya askeri uçakları gruplamak için sınırlı sayıda operasyon gerçekleştiren türlerin kullanılması tavsiye edilir.

#### **3.3.3.1 Uçak gruplandırma yaklaşımı**

Farklı uçak tiplerini gruplandırmanın amacının, havalimanı çevresindeki gürültü konturlarının hesaplanması için özel uçak gürültü ve performans verilerini sınırlı miktarda kullanarak bazı karakteristik parametreleri tespit etmek olduğu belirtilmiştir. Uçak grupları tanımlanırken gürültü emisyonu ve uçak performansı ile ilgili elde edilen karakteristik parametreler kullanılmalıdır.

Gürültü ile ilgili uçuş performans parametreleri aşağıda verildiği gibidir:

- Uçak itme gücü türü (jet, fan ya da turbo prop)
- Motor sayısı (1,2,3 veya 4)
- Fan motorları için geçiş oranı
- Maksimum kalkış kütlesi (kg)

Uçak türlerinin kullanım amaçlarına göre gruplandırılmasının (ticari, askeri vb.) gürültü maruziyet çalışmaları kapsamında bir anlamının olmadığı söylenmektedir. Yani bu tür uçaklar karışık olarak gruplandırılabilir. İlgili parametre MTOM'dur.



MTOM için aralıklar iş jetlerini ve yeni büyük uçakları içerecek şekilde genişletilmiştir ve aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir:

**Çizelge 3.3 : MTOM uçak grupları (ECAC.CEAC Doc.29, 1997).**

MTOM (kg)	
Genel havacılık (GA)	$\leq 5,700$
Hafif uçak	5,700-10,000
Orta uçak	10,000-50,000
Ağır uçak	50,000-200,000
Çok ağır uçak	200,000-400,000
Ultra ağır uçak	$\geq 400,00$

Bunun dışında turbo jetler ve turbo fanlar da gruplandırılmıştır. Burada ilgili parametrenin geçiş (by-pass) oranı (BPR) ifade edilmiştir. Motor geçiş oranı ve gürültü emisyonu arasındaki ilişki turbo fan ve turbo jet uçaklar arasında başka bir ayrım yaratmaktadır:

- Saf turbo jet (BPR=0)
- Düşük geçiş (by-pass) oranı (LBPR) ( $0 < BPR \leq 1.5$ )
- Orta geçiş (by-pass) oranı (MBPR) ( $1.5 < BPR \leq 4$ )
- Yüksek geçiş (by-pass) oranı (HBPR) (BPR>4)

Performans ve gürültü emisyonu ile ilgili olarak diğer uçaklar için önemli bir parametre motor sayıları ise aşağıdaki gibidir:

- 2 motorlu
- 3 motorlu
- 4 motorlu

Uçaklarda böyle bir gruplama, havalimanı gürültü seviyelerini belirleme ve gürültüye karşı yapılacak düzenlemeler için kullanılmaktadır.

### 3.3.3.2 Önerilen uçak gruplaması

Uçak gruplama sisteminin, ilgili dökümanda gösterildiği gibi performans ve gürültü emisyonuna ilişkin olarak fiziksel parametreler ve ICAO Kanunu'na dayalı olarak elde edildiği belirtilmiştir.

Havaalanlarında gürültü kontrolü için, havalimanındaki farklı uçak tiplerini içeren bir gruplamanın seçilmesi önerilir. Bazen, aynı uçak tiplerinin farklı gruplarda da bulunabileceği belirtilmiştir. Bunun nedeni, örneğin aynı geçiş oranına sahip iki uçağın farklı kalkış kütleleri ve motor sayılarına sahip olabileceği şeklinde açıklanmıştır. Bir grup içerisindeki uçuş profillerinin anlamaları farklı olabilir. Temsili bir tür seçilirken bunun da dikkate alınması gerektiği ifade edilmiştir.

### 3.3.3.3 Gürültü düzeyi farklılıklarına sebep olan operasyon sayılarının ağırlıklandırılması

Belirli bir grup içerisinde sıklıkla faaliyet gösteren uçak tiplerinin gürültü ve performans verilerinin, sınırlı sayıda hareket gerçekleştiren diğer türleri temsil etmek için kullanılabilmesi söylenmiştir.

Başka bir uçak tarafından temsil edilecek bir uçağın gürültü verileri mevcut olduğu takdirde bu verilerin operasyonların eşdeğer sayısını bulmak için kullanılması gerektiği ifade edilmektedir. Her iki tip için uygun bir dönüştürme faktörü bulunana kadar, gürültü izlerini üreten işlem sayılarında düzeltme yapılmalıdır. Bu durumda, 65 Ldn konturunun dönüştürme için bir temel olarak kullanılması tavsiye edilmiştir. Buna alternatif bir yaklaşımın da, zemin üzerinden operasyon başına desibel olarak alınan gürültü emisyonlarının toplanmasıyla olabildiği söylenmiştir. Bu durumda, operasyon sayılarının dönüşümü iniş ve kalkış için ayrı ayrı yapılabilir.

Bir uçağı temsil edecek başka bir uçak bulunmadığı takdirde, sertifikasyon seviyeleri uygun ağırlıklandırma sayısını tahmin etmek için kullanılabilir. Böyle bir durumda, aşağıdaki şekilde devam edilmesi önerilmiştir:

- a. Her iki uçak tipi için de, referans noktadaki üç gürültü sertifikasyon seviyesinin  $L_{EPN}$  anlamına gelen aritmetiğin belirlenmesi,
- b.  $L_{EPN}$  değerleri  $\Delta L$  ve ağırlıklandırma sayı antilog'u ( $\Delta L/10$ ) arasındaki farkın hesaplanmasıdır.

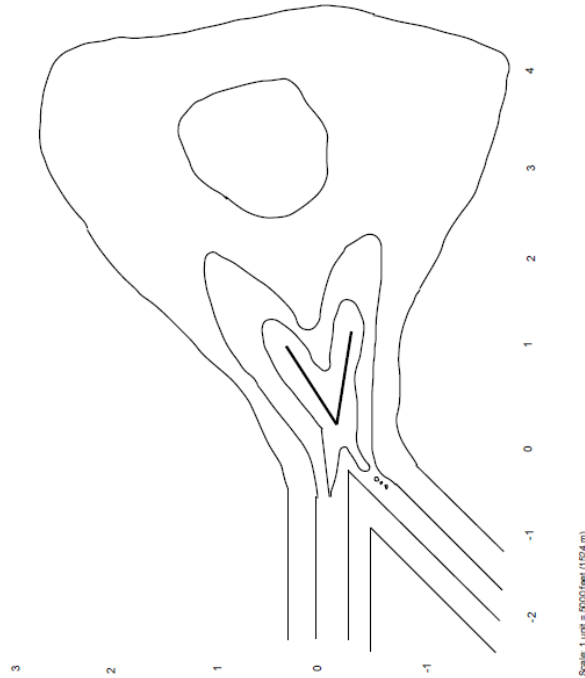
Bu ikinci prosedürün başka bir geliştirilmiş hali de, iniş ve kalkış için farklı ağırlık sayıları tanımlamak olabilir.

Son olarak, gelecekteki uçak türlerinin özellikle itme tekniği mevcut olanları için gürültü ve performans verileri için özel bir değerlendirme yapılması tavsiye edilmiştir.

### 3.3.4 Hesaplama tablosu

Gürültü konturları, bir havalimanındaki uçak trafiği modeli sonucunda meydana gelecek gürültü değişimlerini bir harita üzerinde gösteren eğrilerdir. Gürültü konturları, normal havalimanı merkezli olarak düzenlenmiş ızgaranın kesişme noktalarındaki gürültü indeksinin ayrıık değerlerinin enterpolasyonu yoluyla elde edilir.

Izgara noktaları arasındaki aralıklılar, gürültü indeksi dalgalanmaları dikkate alınarak oluşturulur. Sonuç olarak, gürültü konturlarının kalitesi özellikle gürültü konturlarının keskin değişiklikler meydana getirdiği noktalardaki ızgara aralıklarının seçimine bağlıdır (Şekil 3.3). Normal bir ızgara sistemi kullanıldığı takdirde, ses konturları kılavuz aralığının 2mm olması tavsiye edilmektedir.



**Şekil 3.3 :** Küçük ızgara aralığı eğrilerinin çizilmesi için gerekebilecek gürültü indeksi değerlerinin büyük gradyanlara sahip bölgelerini gösteren tipik gürültü konturları (ECAC.CEAC Doc.29, 1997)

### 3.3.5 Bireysel uçak hareketinden kaynaklanan gürültü temel hesabı

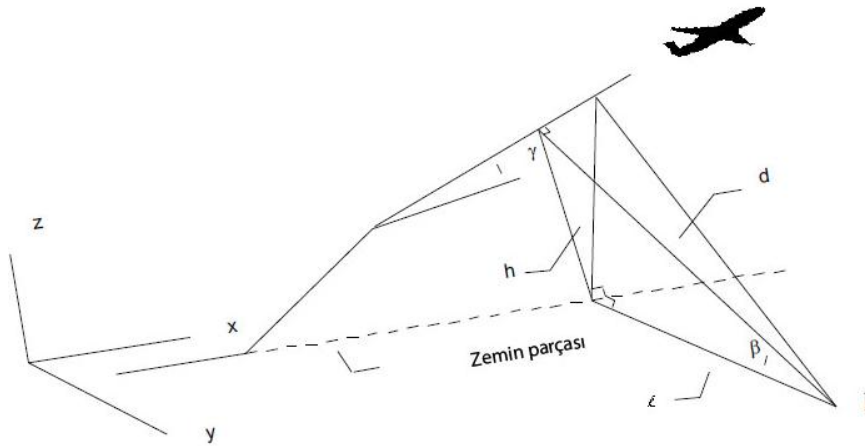
#### 3.3.5.1 Uçuş yolu için kısa mesafe tayini

Bu yöntem ile, belirli bir gözlem noktasında, bireysel uçak hareketlerinden uçağın gözlem noktasına en yakın mesafeye geldiği ana karşılık gelen gürültü seviyesi belirlenir. Gözlem noktasında en yakın geçiş sırasında ses seviyesi maksimuma ulaşır ve sonra tekrar düşer. Gözlem ve uçuş yolu arasındaki en kısa mesafe, mesafe parametresi olarak kullanılır. Gürültü-güç-mesafe verileri güç ayarı bir referans hız ile düz uçan bir uçak için geçerlidir. Gerçek bir uçuş hareketi sırasında, uçak normal olarak tırmanma veya yaklaşma gerçekleştirecektir.

Farklı mesafeleri ve açıları temsil etmek için kullanılan semboller Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Uçuş yolu kısa mesafesi aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

$$d = \sqrt{l^2 + (h \cos \gamma)^2} \quad (3.4)$$

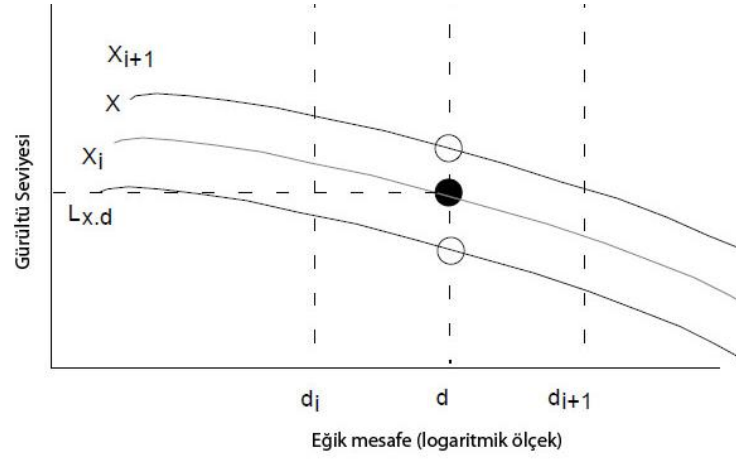
Bu denklemde;  $l$ , gözlem noktasının zemin parçasına olan dik uzaklığını;  $h$  uçak uçuş yüksekliğini;  $\gamma$  ise tırmanma açısını temsil etmektedir.



**Şekil 3.4 :** Ses seviyesi veya sese maruz kalma düzeyi hesaplaması ve zemin zayıflama hesaplamasında kullanılan farklı mesafeler ve açıların tanımlanması (ECAC.CEAC Doc.29, 1997)

#### 3.3.5.2 Gürültü-güç-mesafe veri interpolasyonu

Mesafe verilerine karşılık tablolaştırılmış gürültü, normal olarak gerçek güç-ayar ve/veya gerçek kısa mesafeye karşılık gelmeyebilir. Bu durum genellikle ses seviyesi tahmini ve interpolasyon yolu ile ses maruziyet düzeyi için gerekli olacaktır. Doğrusal interpolasyon tablolaştırılmış güç ayarları arasında kullanılırken, logaritmik interpolasyon tablolaştırılmış mesafeler arasında kullanılır (Şekil 3.5).



**Şekil 3.5 :** Gürültü-güç-mesafe eğrileri (ECAC.CEAC Doc.29, 1997)

$X_i$  ve  $X_{i+1}$  gürültü verileri biraz uzakta sağlandığı için net çekiş değerlerinin tablolaştırılmış olduğunu kabul edilirse,  $X_i$  ve  $X_{i+1}$  arasındaki ara itme  $X$ , aynı mesafeden gürültü seviyesi ile verilir:

$$L_X = L_{X_i} + (L_{X_{i+1}} - L_{X_i}) \frac{(X - X_i)}{(X_{i+1} - X_i)} \quad (3.5)$$

$d_i$  ve  $d_{i+1}$  gürültü verileri bazı güç ayarlarının temin edildiği tablo mesafeleri olarak ele alınır,  $d_i$  ve  $d_{i+1}$  arasındaki ara mesafe  $d$ , için aynı net itme gürültü seviyesi ile verilir:

$$L_d = L_{d_i} + (L_{d_{i+1}} - L_{d_i}) \frac{(\log d - \log d_i)}{(\log d_{i+1} - \log d_i)} \quad (3.6)$$

### 3.3.5.3 Süre düzeltmesi ( $\Delta V$ )

SEL verilerinin verildiği durumlarda,  $V_{ref}$  referans hava hızı ve  $V$  ilgili uçuş segmenti zemin hızı iken  $\Delta V$  süre düzeltmesi için aşağıdaki formül kullanılır:

$$\Delta V = 10 \log V_{ref} / V \quad (3.7)$$

Kaynak gürültü hızı değişikliklerinin etkisi, uçuş durumuna uygun itme ile ilgili gürültü parametresinde temel gürültü verileri girilerek kaplanır.

### 3.3.5.4 Sakin rüzgar koşulları için yanal zayıflama

Ortalama bir uçak için sakın rüzgar koşullarında (yani, hiçbir rüzgar), yanal zayıflamanın belirlenmesi için prosedürler, SAE AIR 1751'de verilmiştir. Bu normalde uygulanan bir işlemdir.

Düzeltilme için aşağıdaki durumlarda üç denklem oluşur:

- a. Uçak yerde olduğunda;
- b. Uçak havada olduğunda ve yanal mesafe 914 m'den daha büyük olduğunda; ve
- c. Uçak havada ve yanal mesafe 914 m'den az olduğunda.

Uçak yerde iken;  $G(l)$  m içinde yatay yanal mesafesi  $l$  bir fonksiyonu olarak desibel olarak yer üstündeki yanal zayıflama olduğunda yanal zayıflama denklemi;

$0 < l < 914$  m için;

$$G(l) = 15.09 (1 - e^{-0.00274 l})$$

Ve  $l \geq 914$  m için

$$G(l) = 13.86 \quad (3.8)$$

Uçak havadan ve yatay yanal mesafe 914 m'den daha büyük,  $\Delta(\beta)$  desibel ve yükseklik açısı içinde olduğu  $b = \cos^{-1}(l/d)$ , derece olduğunu. hava-yer yanal zayıflaması:

$0^\circ \leq \beta \leq 60^\circ$  için;

$$\Delta(\beta) = 3.96 - 0.066 \beta + 9.9e^{-0.13 \beta} \quad (3.9)$$

Yanal zayıflama bir geçiş denklemi tarafından verilen uçak havadayken ve yatay yanal mesafe az, yani 914 m'ye eşit olduğunda aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

$$\Delta(\beta, l) = (G(l)) (\Delta(\beta)) / 13.86 \quad (3.10)$$

### 3.3.5.5 Segmentasyon / Simülasyon

Yukarıda özetlenen sıradan yöntem, düz bir parça için sabit güç ayarında ve sabit hızda, sabit bir yükseklikte uçan uçağın gürültü hesabı varsayımına dayanmaktadır. Hesaplama doğruluğu için farklı iki olasılık daha geliştirilmiştir. Bu olasılıklar segmentleme ve simülasyon teknikleridir.

Segmentleme, ses maruziyet seviyesi hesabı için daha gelişmiş bilgisayar programlarında kullanılan bir tekniktir. Uçuş yolu, gürültü veri biçimi kullanımı için bölümlere (segmentlere) ayrılmıştır. Ses maruziyet düzeyi her segment için hesaplanır ve tüm parçalar birleştirilmeden önce segmentin sonlu uzunluğu için düzeltme yapılır. Segmentasyon yöntemi, ICAO 9911 dökümanında (2008) daha detaylı olarak anlatılmıştır.

Segmentasyon tekniğine göre daha iyi sonuç veren bir diğer yöntem de simülasyon tekniğidir. Simülasyon tekniği, bir kalkış veya iniş sırasındaki anlık ses basınç seviyesini küçük zaman aralıklarında hesaplar ve ses maruziyet düzeyini belirler. Simülasyon tekniği, segmentasyon tekniğine göre çok büyük zaman kazancı sağlar.

### 3.3.6 Kalkış ve iniş zemin gürültüsü

#### *Jet uçakları için kalkış anı gürültü modellemesi*

Şekil 3.6'daki koordinat sistemi kullanılarak x negatif değerleri için (yani başlangıç noktasının arkasında) gürültü seviyesi aşağıdaki gibi hesaplanır:

a. Uçağın başlangıç konumundaki bir gözlem noktası, K (-x,y), için radyal mesafe, r, ve K yarıçapı ile pist eksenindeki açı  $\Phi$  belirlenir.

b. Kalkış parçası arkasındaki yönelim işlevi (directivity function)  $\Delta_L$  için aşağıdaki denklemler kullanılabilir:

$90^\circ < \Phi < 148.4^\circ$  iken;

$$\Delta_L = 51.44 - 1.553\Phi + 0.015147\Phi^2$$

$148.4^\circ < \Phi < 180^\circ$  iken;

$$\Delta_L = 339.18 - 2.5802\Phi - 0.0045545\Phi^2 - 0.000044193\Phi^3 \quad (3.11)$$

c. K noktasındaki gürültü seviyesi  $L_K$ , aşağıdaki denklem ile elde edilir:

$$L_K = L_{X_{TO}} + \Delta_V - G(r) + \Delta_L \quad (3.12)$$

$L_{X_{TO}}$  = r mesafesinde ve  $X_{TO}$  net itmeye karşılık gelen gürültü seviyesi

$\Delta_V$  = süre düzeltmesi

$G(r)$  = r mesafesinde yanal zayıflama

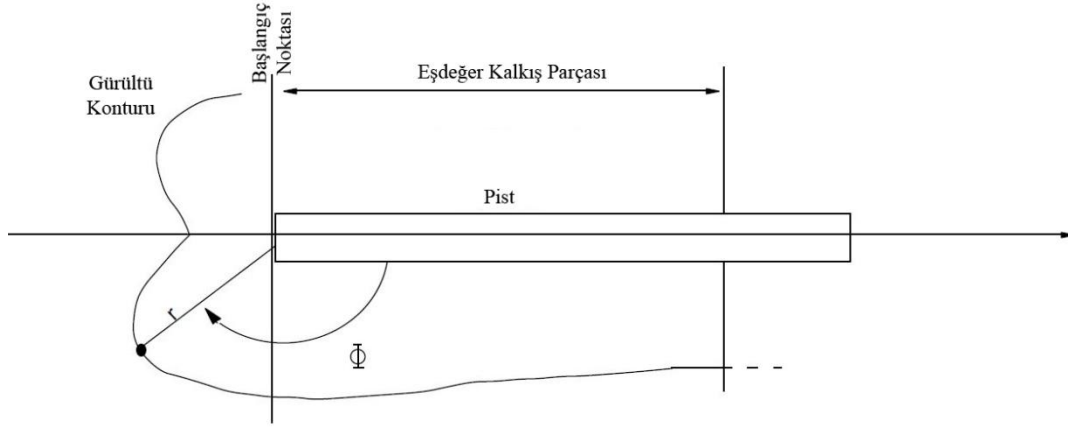
$\Delta_L$  = direktivite faktörü

Maksimum gürültü seviyesi tanımlayıcısı durumunda, aynı formül kullanılır ancak bu kez  $\Delta_V$  yalnızca uçuş etkisi için bir düzeltmedir, maksimum seviyeler dikkate alınmaz:

$$\Delta_V = 0.036 (V_L - V)dB \quad (3.13)$$

$V_L$  = havalanma anındaki hız, kts

$V$  = gerçek hız, kts



Şekil 3.6 : Kalkış parçası konturları (ECAC.CEAC Doc.29, 1997)

### 3.3.7 Gürültü seviyelerinin toplanması

Toplam trafikteki bir hesaplama noktasında gürültü maruziyeti tespit edilmeden önce, her uçak için ayrı ayrı ses maruziyet düzeyi ya da maksimum gürültü seviyesi hesaplanmalıdır. Toplam trafik maksimum gürültü seviyesini belirlemek için ulusal gürültü indeksi formülasyonu kullanılmalıdır. Eşdeğer basınç seviyesini  $L_{Aeq,w}$  belirlemek için ortalama günlük ses maruziyet seviyesi bir enerji olarak eklenir. Ortalama gün süresini belirlemek için ulusal yöntemler tanımlanmıştır. Ulusal yöntemlere göre, ses maruziyet düzeyi günlük saat bazlı bazı ülkeler için ise haftalık saat bazlıdır. Toplama işlemi aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$L_{Aeq,W} = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \sum_{j=1}^N W 10^{\frac{L_{AE,j}}{10}} \right] \quad (3.14)$$

$L_{AE,j}$  = N üzerinden j'inci uçak operasyonunun ses maruziyet düzeyi

W = Güne ve bazı ülkelerde haftaya bağlı ağırlık faktörü

T =  $L_{Aeq}$  için referans zaman, saniye

### 3.3.8 Uçuş yollarının yanal ve düşey dağılımlarının modellenmesi

#### 3.3.8.1 Standart zemin parçaları arasında yanal dağılım

Tüm uçak kalkış ve iniş zemin parçaları varsayımları üzerinde hesaplanan gürültü konturları, bazı lokalize dB hataları olsa da nominal rotaları izlemelidir. Güvenilirlik için, iniş ve kalkış zemin parça dağılımlarının formları ve parametrelerinin belirli havaalanlarında her rota üzerinde ölçülebilir olması tavsiye edilir.



### **Ölçümlerin yokluğunda kullanılacak varsayımlar**

Ölçümlerin mevcut olmadığı zamanlarda, nominal kalkış rotaları kabul edilebilir. Bu durumda, aşağıdaki ifadelerden türetilmiş uygulama yolu ile ilgili standart sapmaların kullanılması önerilmiştir:

- 45 dereceden az dönüş içeren yollar:

$2.7\text{km} \leq x \leq 30\text{km}$  için;

$$s(y) = 0.055x - 0.150$$

$x > 30\text{km}$  için;

$$s(y) = 1,5\text{km} \quad (3.15)$$

- 45 dereceden fazla dönüş içeren yollar:

$3.3\text{km} \leq x \leq 15\text{km}$  için;

$$s(y) = 0.128x - 0.42$$

$x > 15\text{km}$  için;

$$s(y) = 1,5\text{km} \quad (3.16)$$

Bu denklemlerde bulunan  $s(y)$  standart sapma iken  $x$ , başlangıç noktasında olan uzaklıktır. Tüm mesafeler kilometre cinsinden ifade edilmiştir.

Gürültü endekslerinin hesaplanan değerleri, özellikle yanal dağılımda duyarlı değildir. Gauss formu pek çok dağıtım için iyi bir uyum sağlar. Dağılımlar sürekli simüle edilebilir olsa da, yaklaşık bir model, işlem maliyeti açısından tercih edilmektedir. Minimum olarak, 5 noktalı kesikli yaklaşım kullanılmalıdır. Çizelge 3.4'te verilen 5 noktalı kesikli yaklaşım doğruluğu genelde sürekli dağılımdan (Gauss) elde edilen 1 dB içindeki değeri verir ve tavsiye edilir.

Yanal zayıflama etkisi uçağın ayırık pozisyonları için dikkate alınabilir ya da nominal uçuş yolundan sıfır yanal dağılıma tekabül eden genel bir etki hesaplanabilir.

#### **3.3.8.2 Dikey dağılım**

Trafik, yanal olarak dağıldığı gibi dikey olarak da dağılacaktır. Bu durum; kalkış ağırlığı, baş rüzgar (ya da kuyruk rüzgarı), kalkış prosedürü ve pilotun prosedürü yönetmesindeki farklılıklara bağlıdır. Dikey dağılım kalkış ağırlığındaki değişimden kaynaklanmaktadır ve bu nedenle uzun dağılım aralığı ile karşılaştırıldığında kısa

menzilli uçaklar için farklı olacaktır. Uçak tipi ile arasındaki bağlantıdan dolayı, dikey dağılım için bir model hazırlamak mümkün değildir. Ayrıca dikey dağılım, yanal dağılım kadar hesaplama sonucunu etkilememektedir.

**Çizelge 3.4 :** Farklı toprak pistlerde kabul edilecek olan uçağın nominal parça oranı (ECAC.CEAC Doc.29, 1997).

Aralık	Oran
$y_m - 2.0s(y)$	0.065
$y_m - 1.0s(y)$	0.24
$y_m$	0.39
$y_m + 1.0s(y)$	0.24
$y_m + 2.0s(y)$	0.065

### 3.3.9 Parça geometrisi için düzeltme ile ses maruziyet düzeyi hesaplama

Hesaplama prosedürü üç adımda incelenebilir:

1. Adım: SEL; düz uçuş, sabit bir yükseklik ve güç ayarı varsayılarak hesaba yakın segmentten katkı alınarak hesaplanır. Hesaplama noktası bir dönüşün dış tarafında yer almakta ise (negatif) dB cinsinden bir düzeltme ilave edilir.
2. Adım: Hesaplama noktası, herhangi bir yerdeki dönüş merkezi ve yarıçapı ile tanımlanmış bir daire içinde yer alıyorsa (pozitif), dB cinsinden bir düzeltme ilave edilir.
3. Adım: Bir sonraki segmentin yakın olduğu durumlarda, onun katkısı da dikkate alınır.

Aşağıdaki bölümlerde, farklı adımlar hakkında daha fazla bilgi verilmiştir.

#### ***1.Adım: En yakın segment katkısı***

Bu nominal parçanın düz ve dairesel bölümlerden oluştuğu varsayılmaktadır. Parça dikmeleri hesaplama noktası üzerinden seçilir ve parça ve hesaplama noktası arasındaki en kısa mesafe SEL hesaplamalarından seçilir.

### **1. Adım: Bir dönüş parçası üzerinde düzeltme**

Şekil 3.7'de dönüş bölümünü içeren bir parça gösterilmiştir. Dönüş bölümü merkezi (C), dönüş açısı ( $\Psi$ ) ve yarıçapı (r) ile tanımlanmıştır. Hesaplama noktası J ( $\Psi$  açısıyla) ise bu durumda bir düzeltme uygulanır. C ve J arasındaki çizgi  $\Psi$  açısını radyan cinsinden  $\Psi_1$  ve  $\Psi_2$  olmak üzere 2'ye böler.

Not:  $\Psi = \Psi_1 + \Psi_2$

C ile J arasındaki mesafe JC ile gösterilirse, parça ile J arasındaki mesafe JT ile gösterilir.

Not:  $JC = JT + r$

$$\Delta L_{AE}(dış) = 10[\sin(\Psi/2)] \log[1 - 2.75(JT/JC)\Psi_1 \cdot \Psi_2 / \Psi^2] \quad (3.17)$$

JT = 0 (parçaya mesafe yok)

$\Psi = 0$  (dönüş yok)

$\Psi_1 = 0$  veya  $\Psi_2 = 0$

$\Psi_1$  ve  $\Psi_2$  eşit ise, düzeltme limiti 90 derece dönüş için -3.5dB ve 180 derece dönüş için -5 dB olacaktır.

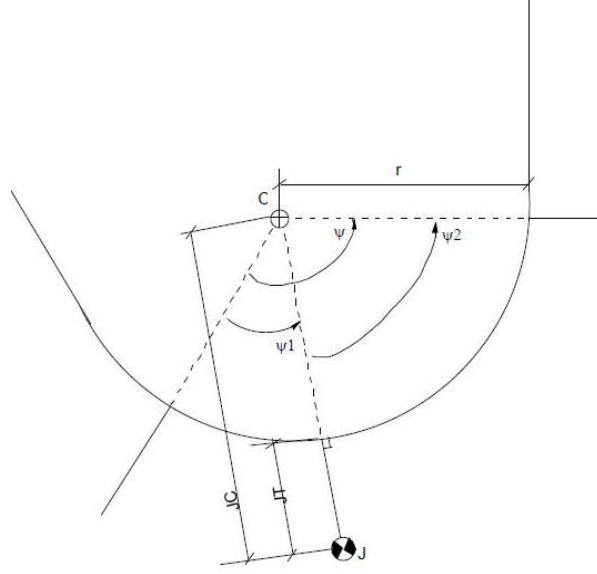
Bilgisayar süresini en aza indirmek için, küçük dönüşler göz ardı edilebilir. -1 dB'lik sınırlayıcı düzeltme 23 derecelik bir dönüş karşılık gelecektir oysa -2 dB'lik sınırlayıcı düzeltme 47 derecelik bir dönüş karşılık gelir.

### **2Adım: Dönüş ile tanımlanana daire içinde düzeltme**

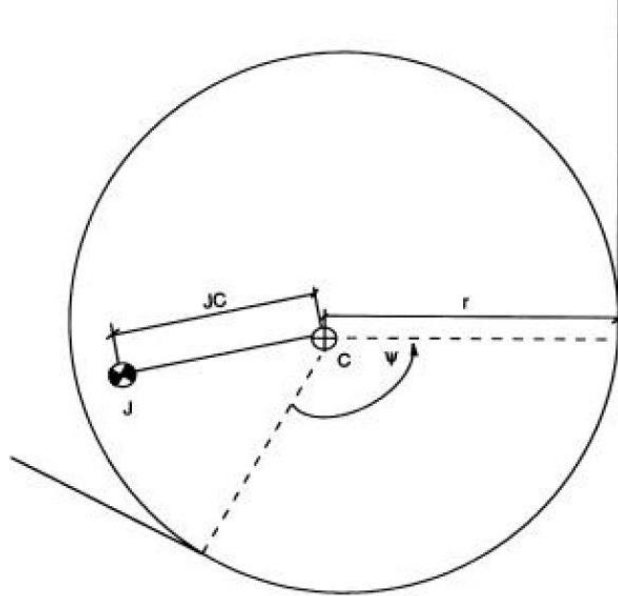
Şekil 3.7'de gösterilen daire parçası, Şekil 3.8'de tam daire olarak gösterilmiştir. Bu daire içinde bulunan hesaplama noktasında düzeltme uygulanmaktadır yani  $JC < r$  ise, r dönüş yarıçapı ve JC hesaplama noktası ile dönüş merkezi arasındaki mesafedir. Düzeltme aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

$$\Delta L_{AE}(iç) = 10 \log \left\{ 1 + \left( \frac{\Psi}{\pi} \right) [(r - JC)/r]^2 \right\} \quad (3.18)$$

Dönüş merkezi, 90 derece dönüş için +2 dB ve 180 derece dönüş için +3 dB'dir. Bilgisayar süresini en aza indirmek için, küçük dönüşler göz ardı edilebilir. +1dB'lik sınırlayıcı düzeltme yaklaşık olarak 45 derecelik dönüş karşılık gelecektir.



Şekil 3.7 : 1.Adım SEL hesaplamaları (ECAC.CEAC Doc.29, 1997)



Şekil 3.8 : 2.Adım SEL hesaplamaları (ECAC.CEAC Doc.29, 1997)

### 3.Adım: Bir sonraki en yakın segmentin katkısı

Şekil 3.6'da verilen parça Şekil 3.8'de de kullanılmıştır. Dönüş merkezinin arkasındaki bölümde, bir sonraki en yakın segment mevcuttur. Hesaplama noktası J, A ve B noktalarının kesişimindedir. Parça mesafeleri için AJ (yakın) ve JB (bir sonraki yakın) gösterilir. Bir sonraki en yakın bölüm JB hesaplanırken, düzeltilmiş J'B mesafesi aşağıdaki gibi kullanılır:

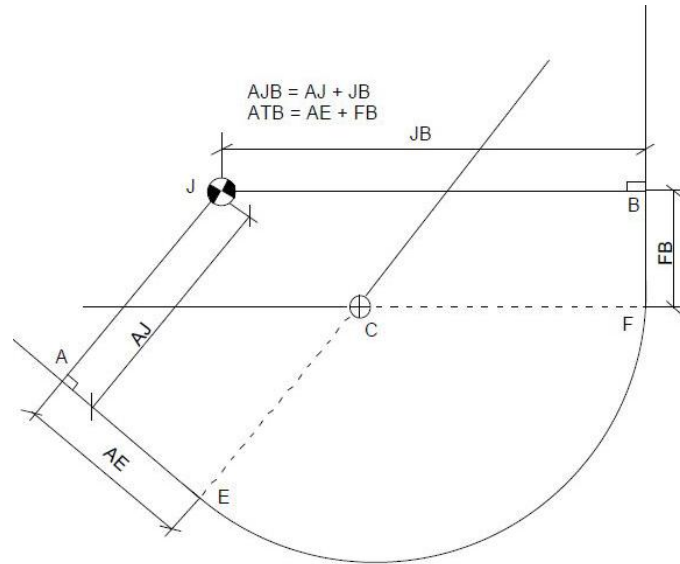
- A'dan B'ye J aracılığı ile ölçülen mesafe, AJB, AJ+JB'dir.

- A'dan B'ye olan parça mesafesi, ATB, düz parçaların uzunlukları alınarak ölçülür.

Şekil 3.9'de dönüş noktası E'den başlar F'de biter. A ve B arasında tek bir dönüş var olduğunda ATB, AE+FB'dir. Bir sonraki en yakın mesafe düzeltmesi aşağıdaki denklem ile yapılır:

$$J'B = JB / \sin[\tan^{-1} 4(ATB/AJB)] \quad (3.19)$$

J'B her zaman için JB'den büyük olacaktır. 3.adım için, diğer iki adımda olduğu gibi genel bir kural yoktur. Sabit bir yükseklikte güç değişikliği olmadığını varsayarsak ve zemin zayıflaması göz ardı edilirse, eğer  $JB > 2JA$  ise bir sonraki yakın bölüm katkısı en az 1dB artacaktır. Dönüş yaklaşık olarak 17 dereceden küçük ise, JB ve JA arasındaki oran bağımsız olarak en az 1dB olacaktır.



Şekil 3.9 : 3.Adım SEL hesaplamaları (ECAC.CEAC Doc.29, 1997)

### 3.3.10 Gürültü konturlarının hesaplanması için kılavuz

Bir havalimanı gürültü çalışması için aşağıdaki bilgiler gereklidir:

- Havalimanında faaliyet gösteren uçak tipleri,
- Her bir uçak türü için, gürültü ve performans verilerinin elde edilmesi,
- İnen ve kalkan uçaklar tarafından takip edilen rotalar ve/veya zemin parçaları arasındaki dağılım
- Her bir rota için uçak türü başına operasyon sayısı
- Uçak ağırlık, hız ve konfigürasyonlar ile operasyon verileri ve her rota ile ilişkili uçuş prosedürleri

- Havalimanı verileri (ortalama meteorolojik koşullar, pistlerin sayısı ve uyumu vb.)

Gürültü ve performans ile ilgili verilerde, uçaklar gruplandırılmıştır ve temsili veriler seçilmiştir. Hesaplama ızgaraları burada verilen özelliklere göre düzenlenmiş ve ızgara noktalarında gürültü seviyeleri hesaplanmıştır. Her bir ızgara noktasındaki gürültü seviyeleri, seçilen gürültü ölçeği ya da izin formülasyonuna göre toplanır ya da birleştirilir. Son olarak, hatları bulmak için ızgara noktalarındaki gürültü indeksi değerleri arasında interpolasyonlar yapılır.

Detaylı bakımdan bir dizi olarak, hesaplama işlemleri havalimanına özgü olabilir veya hesaplama ilgili bazı kısıtlamalar olabilir. Bu detaylar arasında aşağıdaki maddeler yer alır:

- a. Uçak gruplarının optimum sayısının seçilmesi
- b. Seçilen gürültü endeksine göre bireysel uçak hareketlerinden gürültü seviyelerinin bir araya getirilmesi
- c. Interpolasyon yöntemi, gürültü hatlarını bulmak için grid noktaları arasında kullanılmalıdır. 1m mesafede konturların konumsal doğruluğunu korumak amacıyla 0.005 dB doğrulukla devam etmek mümkündür.

Tüm bunlara ek olarak, unutulmaması gereken bir durum da uçaklar tarafından üretilen burada bahsedilmeyen farklı gürültü türleri de mevcuttur. Bunlar motor testi ve yardımcı güç üniteleri kullanımını içerir.

### **3.4 ICAO Doc.9911 - Havaalanlarında Gürültü Kontrolü Hesabı İçin Önerilen Yöntem Raporu**

Kontur haritaları, havaalanlarında uçak gürültü etkisinin kapsamı ve büyüklüğünü göstermek için kullanılır ve metrik veya izinle belirtilen gürültü değerleri ile gösterilir. Bir kontur, indeks değeri sabit olduğu sürece bir çizgidir. Belirli bir süre boyunca ortaya çıkabilecek bireysel uçak gürültüsü olaylarının indeks değerleri toplamı, belirli bir gürültü metriğine göre gün veya ay olarak ölçülür.

Havalimanına iniş ya da buradan kalkış yapan uçaklarda gürültü bir çok faktöre bağlıdır. Bunlar uçaklara ve onların motor türlerine; uçaklarda kullanılan güç, kapak ve hız yönetimi prosedürlerine; farklı uçuş yolları için ilgili noktaya olan mesafelere; ve yerel topoğrafya ile hava durumuna bağlıdır. Havalimanı faaliyetleri genellikle

farklı uçak türleri, çeşitli uçuş prosedürleri ve işletme kitleleri gibi bir çok farklı tür içerir.

Gürültü konturlarının oluşturulma işlemi Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Konturlar çeşitli amaçlar için üretilmiştir ve kaynak/veri girişi için ön işlem şartlarını kontrol etmek eğilimindedir. Gelecek planlama amaçlı kullanılan konturların, trafik ve uçuş parçaları ile gelecekteki uçakların performansı ve gürültü özellikleri açısından daha güvenilir olacakları tahmin edilmektedir.



**Şekil 3.10 :** Gürültü konturları oluşturma sistemi (ICAO Doc 9911, 2008)

Her bir farklı uçak hareketinin iniş ve kalkış anındaki gürültüsü uçuş yörünge geometrisi açısından aşağıdaki gibi tanımlanır. Gürültü yayılımı - esas olarak motor tarafından üretilir ve uçağın motor gücü özelliklerine bağlıdır. Önerilen metodoloji uçuş yörüngesini segmentlere ayırmayı içerir. Her bir farklı uçak hareketinin iniş ve kalkış anındaki gürültüsü uçuş yörünge geometrisi açısından aşağıdaki gibi tanımlanır. Gürültü yayılımı - esas olarak motor tarafından üretilir ve uçağın motor gücü özelliklerine bağlıdır. Önerilen metodoloji uçuş yörüngesini segmentlere ayırmayı içerir.

### **3.4.1 Yöntem uygulanabilirliği**

#### **3.4.1.1 Segmentleme kavramı**

Veritabanı, herhangi bir spesifik uçak için temel gürültü-güç-mesafe (NPD) ilişkilerini içerir. Bu durum, referans atmosferik koşullar içinde ve belirtilen bir uçuş konfigürasyonu alanında ses etkinlik seviyelerinde sürekli bir düz uçuş sırasında mesafenin fonksiyonunu tanımlar. Gürültü modelleme amaçları için; genellikle net çekişi düzeltilmiş, gürültü ile ilgili güç parametresi tarafından itki gücü temsil edilir. Veritabanında belirlenen temel durum düzeyleri, farklı atmosferik koşullarda, uçağın ve uçaktan doğrudan etkilenmeyen alıcı noktasında aşağı doğru ve yatay olarak farklı

yayılan sesin hesaplanması için ayarlanır. Bu son fark, yatay yönsellikten ( motor montaj efektleri) ve yatay zayıflamadan kaynaklanmaktadır. Olay düzeylerinin, uçuş noktasındaki uçaktan sabit düzeye toplam gürültüsü için olduğunu not etmek önemlidir. Bölümleme (segmentasyon), NPD’de önerilen gürültü konturları ve yatay verileri düzgün olmayan bir uçuş yolunda bir alıcıya ulaşan gürültünün hesaplanmasının adapte edildiği süreçtir; yani yol boyunca uçak uçuş konfigürasyonu değişir. Etkinliğin maksimum seviyesi, bireysel segment (single segmentasyon) değerlerinin en büyüğüdür. Tüm gürültü olayının zaman entegre düzeyi, segmentlerde yeterli sayıda alınan gürültülerin toplanmasıyla elde edilir. Sınırlı bir segmentteki entegre olay seviyesinin gürültüye katkısını tahmin etmek yöntemi yalnızca deneyseldir. Enerji kesiri (fraksiyonu) F- Toplam yol gürültüsü ile orantılı olarak ifade edilen bölüm gürültüsü- uçak gürültü ve segmentinin alıcının ‘görüş (view)’ boyuna yönelme sağlayan basit bir ifade ile tanımlanır. Bu basit deneysel yöntemin yeterli nedenlerinden biri, bir kural olarak, en çok gürültü genellikle yakın (komşu bölüm) segmentten gelir ki bu kendi segmenti içinde alıcı (SPA) için en yakın noktadır. Bu, doğruluğundan önemli ölçüde ödün vermemek için gürültü tahminlerinin komşu olmayan segmentlerden giderek yaklaşarak yapılması anlamına gelir.

#### **3.4.1.2 Uçuş yolları: parçalar (tracks) ve profiller**

Modelleme kapsamında; uçuş yolu (ya da yörünge), uçağın uydu ve zaman içindeki hareketinin bir göstergesidir. İtici baskı ile birlikte oluşan gürültünün hesaplanması için gerekli bilgilerdir. *Zemin izi*, düz bir zemin üzerinde uçuş yolunun dikey izdüşümüdür. Bu, üç boyutlu uçuş yolu oluşturmak için dikey uçuş profili ile bir araya getirilmiştir. Segment modellemesi, ardışık doğrusal bir dizi segment ile ifade edilen uçuş yolunu her bir farklı uçağın hareketi için gerektirir. Segmentasyon, gerçekleştirildiği şekilde doğruluğunun ve verimliliğinin dengelemesi ihtiyacına göre belirlenir. Hesaplama yükü ve veri gereksinimleri en aza indirilirken, gerçeğe en yakın tahmini kavisli uçuş yolu gereklidir. Her bölümün kendi uç noktalarının geometrik koordinatları ve uçakla bağlantılı hız ve motor gücü parametreleri tarafından tanımlanması gerekir. Uçuş yolları ve motor gücü, farklı şekillerde prosedür adımları ve ölçülen bir dizi uçuş profil veri analizini içeren en yaygın sentez ile tespit edilebilir.



Uçuş yolunun sentez bilgisi; zemin parçaları ve bunların yanal dağılımları, uçak kütle-hız-itme ve flep yönetim prosedürleri, havalimanı yüksekliği, atmosferik basınç, rüzgar ve hava sıcaklığını gerektirir. Gerekli itme ve aerodinamik uçuş profili hesaplamalarını yapmak için gerekli denklem ilgili dökümanın Ek C'sinde verilmiştir. Her bir denklemin katsayıları, her uçak tipi için spesifik ampirik verilere dayanmaktadır. Ek C'deki aerodinamik performans denklemleri, farklı kalkış yığınlarındaki operasyonlar da dahil olmak üzere, uçak operasyonel kütle ve uçuş prosedürlerinin ele alınmasına izin verir. Ölçüm sonuçları, örneğin uçuş analizi veri kayıt cihazları, radar veya diğer uçak izleme ekipmanlarından, 'tersine mühendislik', sentez sürecinin etkin bir şekilde tersine çevrilmesini içerir. İtme ve gövde üzerine etkileyen aerodinamik kuvvetlerin etkilerini entegre ederek uçuş segmenti ucunda uçak ve motor durumları tahmini yerine, kuvvetlerin gövde yüksekliği ve hız değişiklikleri ayrımında tahmin edilmektedir.

#### **3.4.1.3 Havalimanı ve uçak operasyonları**

Belirli bir havalimanı senaryosu için örnek veriler aşağıda tarif edilmektedir.

Genel havalimanı verileri:

- a. Uygun coğrafi koordinatlarda meydan bulmak için havalimanı referans noktası. Referans noktası hesaplama prosedürü tarafından kullanılan yerel kartezyen koordinat sisteminin orijini olarak ayarlanır,
- b. Meydanlarda referans yüksekliği (havalimanı referans noktasının yüksekliği). Topografya düzenlemelerinin olmaması durumunda nominal yer düzleminin yüksekliği üzerinde ses hatlarının tanımlanması ve
- c. Ortalama meteorolojik parametreler ya da yakın havalimanı referans noktası (sıcaklık, bağıl nem, ortalama rüzgar hızı ve rüzgar yönü)

Her pist için pist verileri;

- a. Pist tanımı;
- b. Pist referans noktası (yerel koordinatlar ile ifade edilen pist merkezi)
- c. Pist uzunluğu, yönü ve ortalama gradyenti
- d. Başlangıç noktası yeri ve iniş eşiği

Zemin izi verileri, bir dizi iz koordinatları ve iz dağılım tanımı ile oluşmaktadır.

Uçak zemin parçaları, zemin düzlemindeki(yatay) bir dizi koordinatlar ile tanımlanmıştır. Zemin izi, radar verilerinin kullanılır olup olmadığına bağlıdır. Böyle bir durumda, güvenilir bir omurga izi ve uygun bağlantılı alt parça verileri istatistiksel analiz ile tespit edilebilir. Böyle değilse, omurga parçaları genellikle uygun prosedürel bilgileri ve standart aletli kalkış prosedürlerini kullanılır. Bu geleneksel açıklama aşağıdaki bilgileri içerir;

- a. Pistten kaynaklanan izin belirlenmesi,
- b. İz kökeninin açıklanması (başlangıç noktası, iniş eşiği),
- c. Segment uzunluğu (yönünün dönüşü,yarıçapı ve değişimi için).

Bunlar, çekirdek (omurga) izini tanımlamak için gerekli olan minimum bilgilerdir. Tam nominal rotalarda uçakların takibi birkaç desibel lokalize hatalardan sorumlu olabileceği varsayımı ile hesaplanan ortalama gürültü düzeylerine dikkat etmek önemlidir. Dolayısıyla yanal olarak dağılması aşağıdaki bilgiler tarafından temsil edilmelidir;

- a. Her parçanın ucundaki 'swathe' genişliği,
- b. Alt parça sayısı,
- c. Omurga parçasına dik hareketlerin dağılımı.

Hava trafik verileri;

- a. Veri ile kaplanmış süresini,
- b. Her uçuş yolunda her bir uçak hareketlerinin sayısını; uygun şekilde günün saatine göre bölünmüş kalkış faaliyetleri için belirtilen gürültü tanımlayıcıları, işletim kitleleri ve evre uzunluklarını içerir.

Aşağıdaki kriterleri karşılayan topografik veriler;

- a. Çoğu havalimanı çevresindeki araziler nispeten düzdür. Ancak havalimanı referans yüksekliğine göre arazi yükseklik değişimlerinde dikkate alınması gereken durumlar olabilir. Arazi yükseklik etkisi, nispeten düşük rakımlarda uçağın operasyon yaklaşım izlerinde çevresi açısından özellikle önemli olabilir,
- b. Arazi yükseklik verileri genellikle bir dizi (x, y, z) örgü boyutu belli bir dikdörtgen ızgara için koordine olarak sağlanır; ancak gürültü hesaplamada yüksekliği ızgara parametreleri için kullanılan ızgaranın daha farklı olması muhtemeldir. Bu durumda,

doğrusal interpolasyon son olarak uygun z koordinatları tahmin etmek için de kullanılabilir,

c. Kapsamlı bir ses yayılımı ile ilgili olmayan düz zemin etkileri analizi bu rehberin dışındadır. Orta derecede eşitsizlik, "pseudo-level" zemin varsayarak yani sadece yükselterek veya her alıcı noktasında yerel zemin yüksekliği (referans toprak düzlemine göre) seviyesinde yer düzlemine düşürerek açıklanabilir.

#### **3.4.1.4 Uluslararası uçak gürültü performansı (ANP) veritabanı**

ANP verileri, havalimanı gürültü çalışmaları için kullanılan standart şartlarda normalize edilmiştir. Özgül referans koşulları, uçak gürültü güç mesafesi ((NPD) ve uçak aerodinamik motor verileri için geçerlidir.

NPD verileri için referans koşullar aşağıdaki verileri içerir:

- a. Atmosferik basınç: 101.325 kPa (1 013.25 mb),
- b. Atmosferik emilim,
- c. Yağış: none,
- d. Rüzgar hızı: en az 8 m / s (15 kt),
- e. Zemin hızı: 160 kt ve
- f. Yerel arazi; düz ve yumuşak zemin, serbest büyük yapılar ya da diğer yansıtıcı nesnelere, birkaç kilometre mesafedeki uçak zemin parçaları.

Buna ek olarak, standart uçak ses ölçümleri zemin yüzeyi üzerinden 1.2m'lik mesafe yükseklikten yapılır. Bununla birlikte, modelleme amacıyla alınan bu etkinlik düzeylerinin alıcı yüksekliği nispeten duyarsız olduğu kabul edilebilir.

Tahmin edilen ve ölçülen havalimanı gürültü düzeylerinin karşılaştırılması yüzeye yakın ortalama koşulları için aşağıda verilen NPD verileri uygulanabilir kabul edilir:

- a. 30°C'dan daha az hava sıcaklığı,
- b. Hava sıcaklığı (°C)ndan kaynaklanan 500'den fazla bağıl nem(yüzde),
- c. Saniyede 8 m'den daha az (15kt) rüzgar hızı.

Bu verilerde dünyanın en büyük havaalanlarındaki şartların kapsandığına inanılmaktadır. ICAO Doc 9911'in C ekinde bu verilerin dışında kalındığında NPD verilerini çevirmek için bir yöntem bulunmaktadır.

Uçak aerodinamik ve motor verileri için referans koşullar şunları içerir:

- a. Pist yüksekliği; deniz seviyesi,
- b. Hava sıcaklığı; 15°C,
- c. Kalkış brüt ağırlığı,
- d. İniş brüt ağırlığı; azami brüt ağırlığının %90'ı.

### 3.4.2 Uçuş yolu tanımı

Bir gürültü modeli, her farklı uçak hareketin üç boyutlu uçuş yolu ve yol boyunca değişen motor gücü ve hızı ile tanımlanır. Bir kural olarak, havalimanı trafiğinin toplam hareket modeli, örneğin tek bir parça zemin üzerinde aynı tip uçak, kütle ve kullanım prosedürü ile aynı hareketler, bir alt kümesini temsil etmektedir. Bu parça, belirlenen rotanın takibinde modelleme için kullanılan birkaç dağınık alt parçalardan biri olabilir. Zemin iz 'swathes'leri, dikey profiller ve uçak işletim parametreleri, uçak verileri ile birlikte ANP veritabanında belirlenmiştir.

Gürültü-güç-mesafe (NPD) verileri (ANP veritabanında), sabit hızda ve güçte sonsuz uzunlukta idealize yatay uçuş noktalarından geçen uçakların gürültüsü olarak tanımlanabilir. Güç ve hız gibi sık değişiklikler ile karakterize edilen terminal alanı uçuş yolları için bu verileri uyarlamak için, her yolu sonlu düz çizgi parçaları ayrılır. Bu parçaların her birindeki gürültü katkıları gözlemci konumunda toplanır.

Bir uçağın hareketinin üç boyutlu uçuş yolu, uçak ve gözlemci arasındaki ses ve radyasyon yayılımının geometrik yönlerini belirler. Belirli bir uçağın kütlesi, özellikle atmosferik koşullarda, uçuş yolu hatlarını takip ve yükseklikleri ve hava trafik kontrol (ATC) tarafından belirtilen hızlarda korumak için, güç, flep ve tutum değişiklikleri sırası tarafından tamamen yönetilir. Bu eylemler, doğal segmentler oluşturacak farklı faz olarak uçuş yolunu bölmektir. Yatay düzlemde, yarıçapı ve değişim ile tanımlanan doğrusal bir sonraki dönüş bir mesafesi olarak belirtilen bacaklar ve dönüşleri içerir. Dikey düzlemde ise, segmentler belirtilen güçte ileri hız ve / veya yükseklik ile ilgili gerekli değişiklikleri gerçekleştirmek için harcanan zaman ve / veya mesafeye göre tanımlanır ve flep ayarlar. Karşılık gelen dikey koordinatları genellikle profil noktaları olarak adlandırılır.

Gürültü modellemesi için uçuş yolu bilgileri prosedürel adımlar bir dizi sentez (yani pilot tarafından izledi) tarafından veya radar verileri ile uçulan gerçek uçuş yolları

yani fiziksel ölçümler analizi yoluyla oluşturulur. Bu metot ile, uçuş yolunun hem yatay hem de dikey şekli, parçalı formlara indirgenir. Yatay şekil, gelen veya giden yönlendirme tarafından tanımlanan zemin pistidir. Profil noktaları ve ilişkili uçuş parametre hız, banka açısı ve güç ayarı tarafından verilen dikey şekli ile birlikte normal uçak üreticisi ve / veya operatör tarafından reçete uçuş prosedürü bağlı olarak uçuş profili tanımlanabilir. Uçuş yolu, 3-D uçuş yolu segmentlerinden bir dizi oluşturmak için 2-D zemin parçası ile 2-D uçuş profilini birleştirilerek inşa edilmiştir.

Bir uçuş yolu segmentinden alınan gürültü, gözlemci ve uçak yapılandırılmasına bağlı olan segmentin geometrisiyle ilişkilidir. Bu yolda tüm noktalarda, uçağın konfigürasyonunun yol boyunca hareketinin tutarlılığı emin olmak açısından önemlidir.

### 3.4.3 Tek bir olay için gürültü hesabı

Burada tam olarak tarif edilen modelleme süreci, uçuş yolu bilgi olayından gürültü seviyesi hesaplanmasıdır.

#### 3.4.3.1 Tek olay ölçütleri

Gözlemci konumda bir uçağın hareketi tarafından üretilen sesin insanlar üzerindeki etkisini bir göstergesi "tek bir olay sesi (ya da gürültü) düzeyi" olarak ifade edilir. Alınan ses desibel ölçeğinde ölçülür.

Bir uçağın tüm olaylarını kapsamak için kullanılan ölçümler; "tek bir olay sesi (ya da gürültü) maruziyet düzeyleri", SEL ve tüm (veya çoğu) olaylarda ses enerjisi hesaplarıdır. Gelecekte,  $L_{Amax}$  ve SEL pratik modelleri somutlaştırmak için beklenebilir. Aynı zamanda metrik gürültü farklı ölçeklerde ölçülebilir ve bu belgede sadece A-ağırlıklı ses düzeyi olarak kabul edilir. Frekans ağırlıklandırma (veya filtreleme) insan işitmesinin taklidinin bir özelliğidir. Sembolik olarak, ölçek genellikle metrik son eki, yani SEL,  $L_{Amax}$  uzatarak belirtilir.

Tek olay sesi (ya da gürültü) düzeyinin  $t_0$  referans süresini belirtir ve aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$L_E = 10 \cdot \log\left(\frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} 10^{L(t)/10} dt\right) \quad (3.20)$$

Entegrasyon aralığı  $[t_1, t_2]$  tüm önemli sesleri sağlamak için seçilmiştir. Çoğu zaman, sınırlar  $t_1$  ve  $t_2$  ve  $L(t)$ ,  $L_{max}$  10 dB içinde olduğu dönemde yayılma için seçilir. Bu

dönem "10 dB aşağı" zaman olarak bilinir. ANP veritabanındaki tabloda sese (gürültü) maruz kalma seviyelerinin 10 dB aşağı değerleri verilmiştir.

Uçağın gürültü kontur modellemesi için, denklem 3.21 uygulama standart metrik sese maruz kalma düzeyi (SEL)  $L_{AE}$  olduğunda:

$$t_0=1\text{sn'de } L_{AE} = 10 \cdot \log\left(\frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} 10^{L(t)/10} dt\right) \quad (3.21)$$

Yukarıda sese maruz kalma seviye denklemlerinde  $L$ , tüm zaman alanı ( $t$ ) bilinen, olay düzeylerini belirlemek için kullanılabilir. Önerilen gürültü modelleme metodolojisi çerçevesinde, zaman geçmişlerini tanımlanmış değildir; olay maruziyet seviyeleri kademeli değerlerinin toplanmasıyla hesaplanır. Bu, her bir kısmi olay düzeylerinin uçuş yolunun tek bir sonlu segmentinden katkısı tanımlar.

### 3.4.3.2 NPD verilerinin etkinlik düzeylerinin belirlenmesi

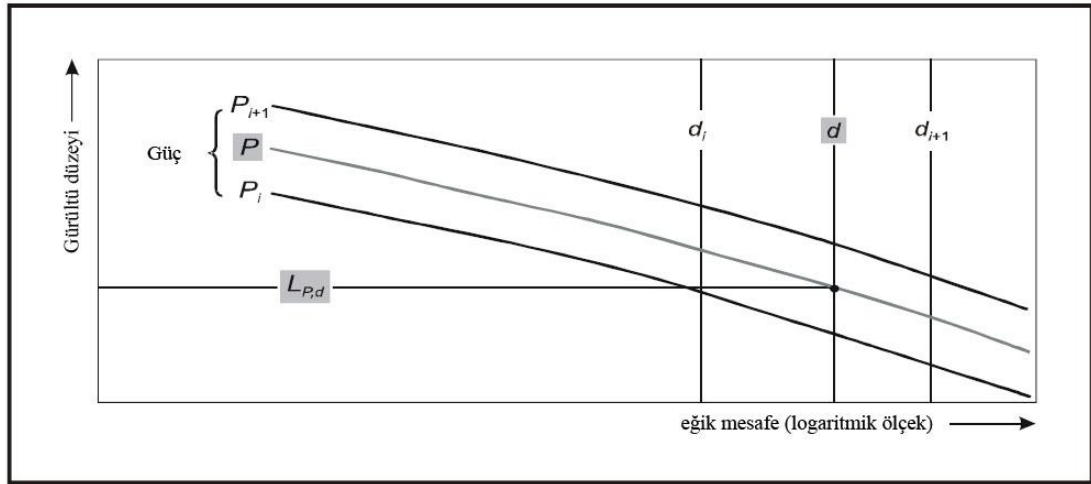
NPD verileri belirli uçak tipleri için uçuş yapılandırılmaları (yaklaşım, kalkış, flap ayarları) ve güç ayarları  $P$  ile bu yayılım mesafesi ( $d$ ) fonksiyonlarını  $L_{\max}$  ve  $L_E$  içerir. Bunlar bir kavramsal sonsuz, düz uçuş yolu boyunca belirli referans hızları ( $V_{\text{ref}}$ ) sabit uçuş ile ilgilidir.

Giriş değerleri  $P$  ve  $d$  olduğunda, gerekli çıkış düzeylerinin bazal değerleri  $L_{\max}(P, d)$  ve / veya  $L_{E \infty}(P, d)$ 'dir. Tablodaki  $P$  ve / veya  $d$  değerleri için tam olarak gerçekleşme süreci, genel olarak, ANP veritabanında enterpolasyon yoluyla istenen bir olay gürültü seviyesini ( $s$ ) tahmin etmek için gerekli olacaktır. Bir doğrusal enterpolasyon tablo güç ayarları arasında kullanılır, ancak bir logaritmik enterpolasyon (bkz. Şekil 3.11) tablo mesafeleri arasında kullanılır.  $P_{i+1}$  gürültü seviyesi mesafe verileri tablosu, motor için güç değerleri ise,  $P_{i+1}$  arasında orta güç  $P$ , için belli bir uzaklıkta bulunan gürültü düzeyi ( $P$ ) tarafından verilmiştir.

$$L(P) = L(P_i) + \frac{L(P_{i+1}) - L(P_i)}{P_{i+1} - P_i} \cdot (P - P_i) \quad (3.22)$$

Herhangi bir güç ayarında,  $d_i$  ve  $d_{i+1}$  ses verileri tablo halinde olan mesafeleri, eğer,  $d_i$  ve  $d_{i+1}$  arasında bir ara mesafesi  $d$  için gürültü seviyesi  $L(d)$  'de verilir

$$L(d) = L(d_i) + \frac{L(d_{i+1}) - L(d_i)}{\log d_{i+1} - \log d_i} \cdot (\log d - \log d_i) \quad (3.23)$$



**Şekil 3.11** : Gürültü-güç-mesafe eğrilerinin enterpolasyonu (ICAO Doc 9911, 2008)

Denklem 3.22 ve 3.23 kullanılarak gürültü seviyesi  $L(P,d)$ ,  $P$  ve NPD veritabanı içinde olan herhangi bir  $d$  uzaklığı ayarlamak için herhangi bir güç elde edilebilir.

NPD, denklem 3.23 dışında  $L(d_1)$  ve  $L(d_2)$  ya da  $L(d_{l-1})$  ve  $L(d_l)$  dışı doğru geçen iki değer, yani içeri doğru tahmin etmek için kullanılır ki  $d$  mesafesi ( $d_l$ ) eğri üzerinde NPD noktalarının toplam sayısıdır. Böylece:

*İçe doğru:*

$$L(d) = L(d_2) + \frac{L(d_1) - L(d_2)}{\log d_2 - \log d_1} \cdot (\log d - \log d_2) \quad (3.24)$$

*Dışa doğru:*

$$L(d) = L(d_{l-1}) + \frac{L(d_l) - L(d_{l-1})}{\log d_l - \log d_{l-1}} \cdot (\log d - \log d_{l-1}) \quad (3.25)$$

Kısa mesafelerde ( $d$  düşük değerler), gürültü düzeyi yayılım mesafesi azalan çok hızlı artıştan bu yana, 30 m alt limit  $d$ , yani  $d = \max(d, 30 \text{ m})$  tavsiye edilir.

### 3.4.3.3 Segment etkinlik düzeyi, $L_{\text{seg}}$ ve etkinlik gürültü seviyesi, $L$

Segment değerleri, NPD verilerinden okunan temel ayarlama (sonsuz yol) değerlerinin uygulanması ile tespit edilir. Bir uçuş yolu kesiminden  $L_{\text{max, seg}}$  gelen maksimum gürültü seviyesi genel olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$L_{\text{max, seg}} = L_{\text{max}}(p, d) + \Delta I(\varphi) - \Lambda(\beta, l) \quad (3.26)$$

ve bir uçuş yolu segmentinin  $L_E$ 'ye katkısı:

$$L_{E, \text{seg}} = L_{E \infty}(P, d) + \Delta V + \Delta I(\varphi) - \Lambda(\beta, l) + \Delta F \quad (3.27)$$

Aşağıdaki etkiler için, denklem 3.26 ve 3.27 "düzeltme koşulları":

$\Delta_V$  *Süre düzeltmesi*: NPD verileri referans uçuş hızı ile ilgilidir. Bu referans olmayan hızlara maruz kalma düzeylerini ayarlar. ( $L_{max, seg}$  için uygulanmaz)

$\Delta_I(\phi)$  *Kurulum etkisi*: Gövde, motor ve çevredeki akış alanları nedeniyle koruyucu, kırılma ve yansıma nedeniyle yanal yönsel bir varyasyonu açıklar.

$\Lambda(\beta, l)$  *Yanal zayıflama*: Ses doğrudan ve yansıyan ses dalgaları (ground effect) arasında ve aynı ses dalgalarını kırabilen atmosferik olmayan düzgünlüklerin (öncelikle zemin nedeniyle) etkileşimi için, yere düşük açılarda bu hesapları yaymak için önemli onlar uçuş yolu tarafına gözlemci doğru yolculuk.

$\Delta_F$  *Segment düzeltme*: Segment sonlu uzunluğu hesapları, belli sonsuz birden küçük gürültüye maruz kalmaya katkıda bulunur.

Eğer segment kalkış zemin silindir parçası ise ve gözlemci başlangıç noktası arkasında yer alıyorsa, özel adımlar çıkarmak konusunda bir uçağın arkasında görülmektedir ve bir jet motoru gürültüsü arasında belirgin yönü temsil alınır, gürültü fraksiyonunun modifiye edilmiş biçiminde de uygulanır.

NPD verilerinde belirtilmiş her segment değeri gücü P, mesafenin d olduğu yerde segmentin en büyük  $L_{max, seg}$  değerleri içinde maksimum düzeyde  $L_{max}$ ; (bkz. Denklem 3.28)

$$L_{max} = \max(L_{max, seg}) \quad (3.28)$$

Maruziyet düzeyi SEL, uçuş yörüngesi her gürültü önemli bir kesimi gelen katılımı  $L_{E, seg}$  desibel toplamı olarak hesaplanır; yani

$$L_E = 10 \cdot \log(\sum 10^{L_{E, seg}/10}) \quad (3.29)$$

Tüm bu işlemler uçuş yolu boyunca adım adım ilerler.

#### 3.4.3.4 Uçuş yolu segmenti parametreleri

$L_{max, seg}(P, d)$  ve  $L_{E \infty}(P, d)$  düzeyleri NPD tablolardan enterpole edildiği için güç P, ve mesafe d, segmentin tanımlanmasına geometrik ve operasyonel parametreleri belirler. Bu süreç aşağıda anlatılmıştır.

Şekil Şekil 3.12 ve 3.14'te gözlemci O (a) arkasında, (b) ile birlikte ve (c) önceden uçuş yönü S2 ile S1 olan bölüm S1S2 olduğu zaman, kaynak alıcı geometrileri göstermektedir. Bu diyagramlarda:



<b>O</b>	gözlemci konumu
<b>S1,S2</b>	segmentin başlangıç ve bitişi
<b>S<sub>p</sub></b>	dik yakın yaklaşım noktası segmenti veya gözlemci için onun uzantısı
<b>d<sub>1</sub>,d<sub>2</sub></b>	segment ve gözlemcinin başlangıcı ve bitişi arasındaki uzaklık
<b>d<sub>s</sub></b>	gözlemci ve segment arasındaki en kısa mesafe
<b>d<sub>p</sub></b>	gözlemci ve genişletilmiş segment arasındaki dikey mesafe
<b>λ</b>	uçuş yolu segmentinin uzunluğu
<b>q</b>	S <sub>1</sub> ve S <sub>p</sub> arası mesafe (gözlemci pozisyonu segmentin arkasında ise negatif)

Şekil 3.12 ve 3.14'te uçuş yol parçası kalın, düz bir çizgi ile temsil edilir. Noktalı çizgi her iki yönde sonsuza uzanan uçuş yolu uzantısını temsil eder. havadan bölümleri için metrik bir maruz kalma olayı L<sub>E</sub> seviyede olduğu zaman, NPD mesafe parametresi d (yani bölüm ya da uzantı ile gözlemciye dik mesafe en az eğik aralığı adı S<sub>p</sub> ve gözlemci arasındaki mesafe d<sub>p</sub>, birsegment) bir parçası olarak kabul edilir.

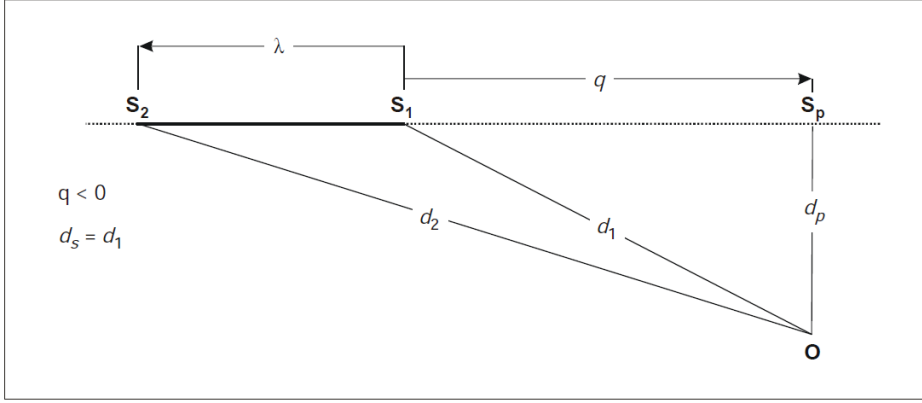
Bununla birlikte gözetleme yerleri zemin kalkış silindir sırasında segmentleri ve yerle zemin bölümlerinin açılış sırasında silindir arkasında poz seviyesi ölçümleri için, NPD mesafesi parametre d mesafesi d<sub>s</sub>, segmente ve gözlemciye kısa mesafe olur (maksimum seviyesi ölçümleri için olduğu gibi).

Maksimum seviye ölçümleri için, NPD mesafesi d<sub>s</sub>, gözlemciden segmente kısa mesafedir.

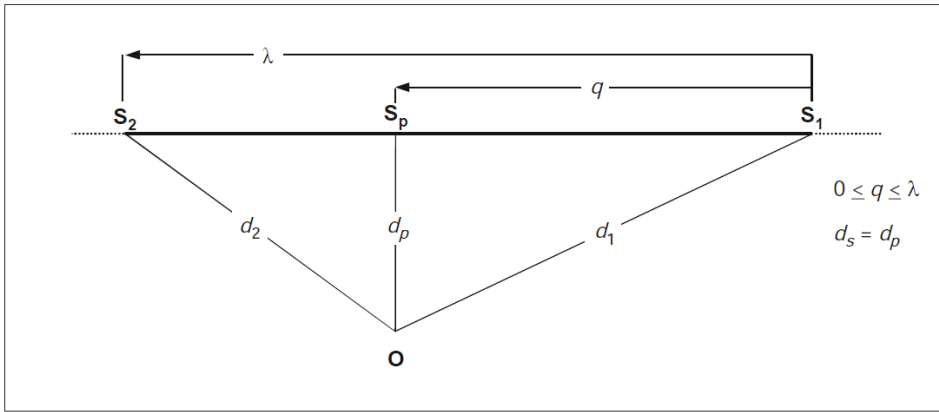
NPD verileri tablosunda, sabit motor gücü P, sonsuz bir uçuş yolu üzerinde yani sürekli bir uçuşta uçak gürültüsü tarif edilir. NPD verilerinde önerilen yöntem tek tip için geçerli olan sonsuz uçuş yolunun bir parçası olarak ele alınır, her biri sonlu kesimlerin bir dizi halinde hız ve yön değiştiren herhangi boyutunda gerçek uçuş yolları kıvrılır. Bununla birlikte yöntem, bir segmentin uzunluğu boyunca P<sub>1</sub> mesafesinin başlangıcında ve P<sub>2</sub> mesafesinin sonunda değişiklikler sağlamaktadır. Eşdeğer bir sabit kesme değeri P'yi tanımlamak bunun için gereklidir. Bu, gözlemci için en olan bölüm üzerinde bir nokta değeri olarak ele alınmıştır. Gözlemci segmentin yanında ise (Şekil 3.13), denklemde verilmiş olduğu gibi 3-3d uç değerleri bu enterporasyonla elde edilir.

$$P = \sqrt{P_1^2 + \frac{q}{\lambda} \cdot (P_2^2 - P_1^2)} \quad (3.30)$$

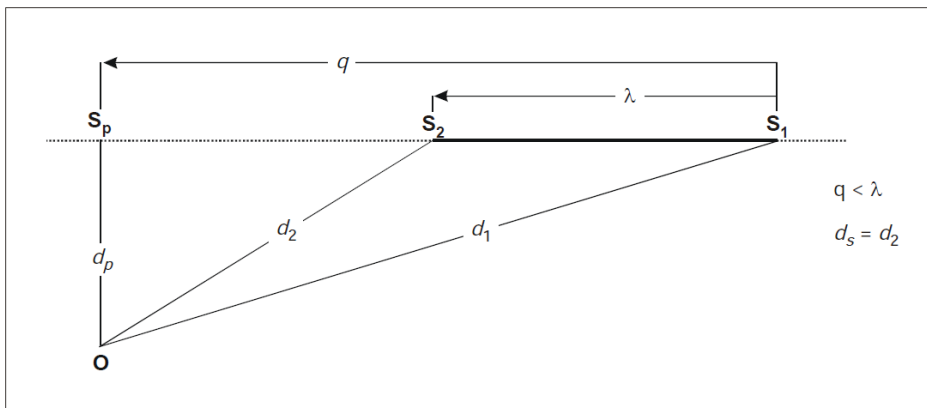
Gözlemci segmentin arkasında ya da önünde ise en yakın son nokta,  $P_1$  ve  $P_2$ .



Şekil 3.12 : Segmentin arkasındaki gözlemcinin uçuş yolu kesimindeki geometrisi (ICAO Doc 9911, 2008)



Şekil 3.13 : Segmentin yanındaki gözlemcinin uçuş yolu kesimindeki geometrisi (ICAO Doc 9911, 2008)



Şekil 3.14 : Segmentin önündeki gözlemci için uçuş yolu parçasının geometrisi (ICAO Doc 9911, 2008)

### 3.4.3.5 Segment etkinliği seviye düzeltme koşulları

NPD, uçağın sabit bir referans hızda sabit güç ile sonsuz uzunlukta idealize edilmiş düz yol altındaki dik mesafenin bir fonksiyonu olarak gürültü etkinlik seviyelerini tanımlar. Etkinlik düzeyi belirli einterpolasyon, NPD tablosunda bir güç ayarı için eğik mesafe dolayısıyla bir başlangıç seviyesi olarak tanımlanmaktadır. Bu sonsuz bir uçuş yolu için geçerlidir ve referans olmayan hız, motor montaj efektleri (lateral yönselliği), yanal zayıflama, sonlu segment uzunluğu ve başlangıç noktası arkasında boyuna yönselliğin kalkış etkilerini hesaba katarak düzeltilmek zorundadır (bkz. denklem 3.26 ve 3.27).

#### Süre düzeltmesi ( $\Delta V$ )

Temel NPD verilerinde ilişkilendirilen uçak referans hızı  $V_{ref}$  gerçek zemin segmenti hızından farklı ise maruz kalma seviyelerinde değişiklik yapılır. Motor gücü gibi, hız segmenti (zemin hızı  $V_1$   $V_2$  değişir) boyunca değişir ve bu segmentte yere eğimli olduğunu hatırlayarak eşdeğer kademeli hız  $V_{seg}$  tanımlamak gereklidir; yani

$$V_{seg} = V / \cos\gamma \quad (3.31)$$

$V$  eşdeğer bir bölüm yer hızı olduğu yerde

$$\gamma = \tan^{-1} \left( \frac{z_2 - z_1}{s_2 - s_1} \right) \quad (3.32)$$

Havadaki segmentler için,  $V$ ; yaklaşımın  $S$  olduğu noktada yer hızı olarak alınır-gözlemci segmentin yanında ise uç nokta değerinin zamanı doğrusal değişir.

$$V = \sqrt{V_1^2 + \frac{q}{\lambda} \cdot (V_2^2 - V_1^2)} \quad (3.33)$$

Gözlemci segmentin arkasında veya önünde ise, en yakın son nokta,  $V_1$  veya  $V_2$  düzeyinde hızıdır.

Pist segmentleri için (take-off veya açılış zemin rulo parçaları olduğu için  $\gamma = 0$ ),  $V_{seg}$  sadece segment başlangıç ve bitiş-hızları ortalama olarak alınır; yani

$$V_{seg} = (V_1 + V_2) / 2 \quad (3.34)$$

Her iki durumda da, katkı maddesinin düzeltilmesinden sonra;

$$\Delta V = 10 \cdot \log (V_{ref} / V_{seg}) \quad (3.35)$$

## Ses yayılım geometrisi

Şekil 3.15 uçağın uçuş yolu normal düzlemindeki temel geometrisini göstermektedir. Zemin hattı normal düzlemlerle düz bir zeminin kesişimidir (Uçuş yolu düz ise zemin hattı yer düzleminin bir uç görünümüdür). İlgili parametreler şunlardır:

- Uçağın yatış açısı  $\epsilon$  onun roll eksenindeki(yani kanat yukarı) yönün tersine ölçülmüştür. Bu durum dolayısıyla sola dönüşlerde pozitif, sağa dönüşlerde negatiftir.
- Yükseklik açısı  $\beta$  (0 ila 90 ° arasında) doğrudan ses yayılım yolu ile düz zemin çizgisi arasındadır. Bu uçuş yolu eğim ve zemin parça, yanal zayıflama gelen gözlemci yanal yerini birlikte belirler.
- Düşme açısı  $\phi$  uçağın kanadıyla yayılma yolu arasındaki açıdır. Bu motor montaj etkilerini belirler. Düşme açısı  $\phi$  sözleşme ile ilgili olarak soldaki gözlemciler için pozitif, sağdaki gözlemciler için negatiftir.  $\phi = \beta \pm \epsilon$

## Motor montajı düzeltmesi ( $\Delta I$ )

Uçuş halindeki bir uçak karmaşık bir ses kaynağıdır. Yalnızca motor orijindeki karmaşık kaynak değildir, aynı zamanda gövde konfigürasyonu, motor konumu, katı yüzeyler ve aerodinamik akış alanlara göre yansıma, kıvrılma ve saçılma süreçleri ile gürültü radyasyon desenlerini de etkiler vardır. Bu durum, tek düze olmayan yanal yönelim olarak sonuçlanmaktadır.

Gövde monte ve kanat montaj motorları altında uçaklar arasındaki yanal yönlendiriciliği önemli farklılıklar vardır ve bu aşağıdaki ifade için izin verilir:

$$\Delta_I(\phi) = 10 \cdot \log \left[ \frac{(a \cdot \cos^2 \phi + \sin^2 \phi)^b}{(c \cdot \sin^2 \phi + \cos^2 \phi)} \right] \quad (3.36)$$

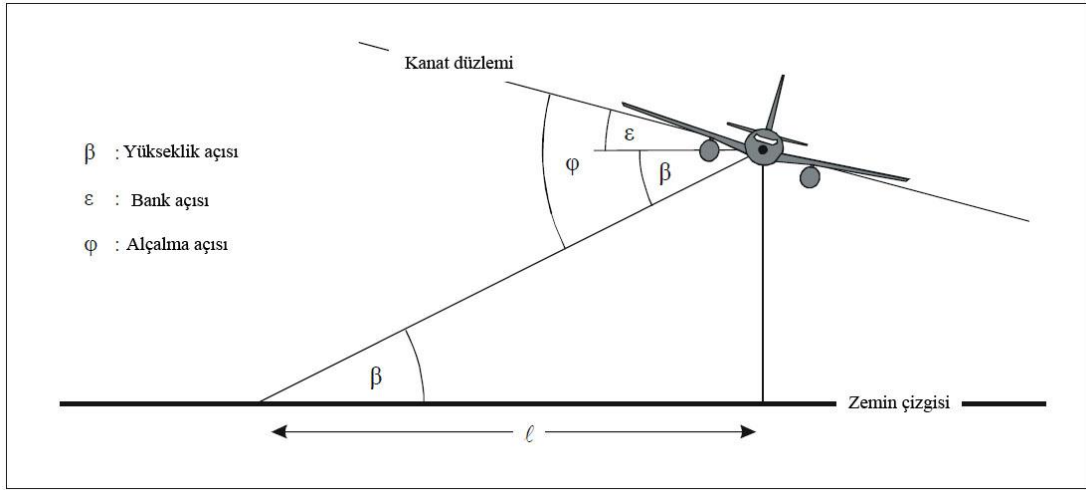
Düşüş açısı  $\phi$ 'da dB olarak  $\Delta_I(\phi)$  düzeltmesi;

kanata monte motorlar için  $a=0.00384$   $b=0.0621$   $c=0.8786$ ; ve

gövdeye monte motorlar için  $a=0.1225$   $b=0.3290$   $c=1$

Pervane uçaklar için direktivite varyasyonları yok denecek kadar azdır ve bu için kabul edilebilir olan:

$$\Delta_I(\phi) = 0 \quad (3.37)$$



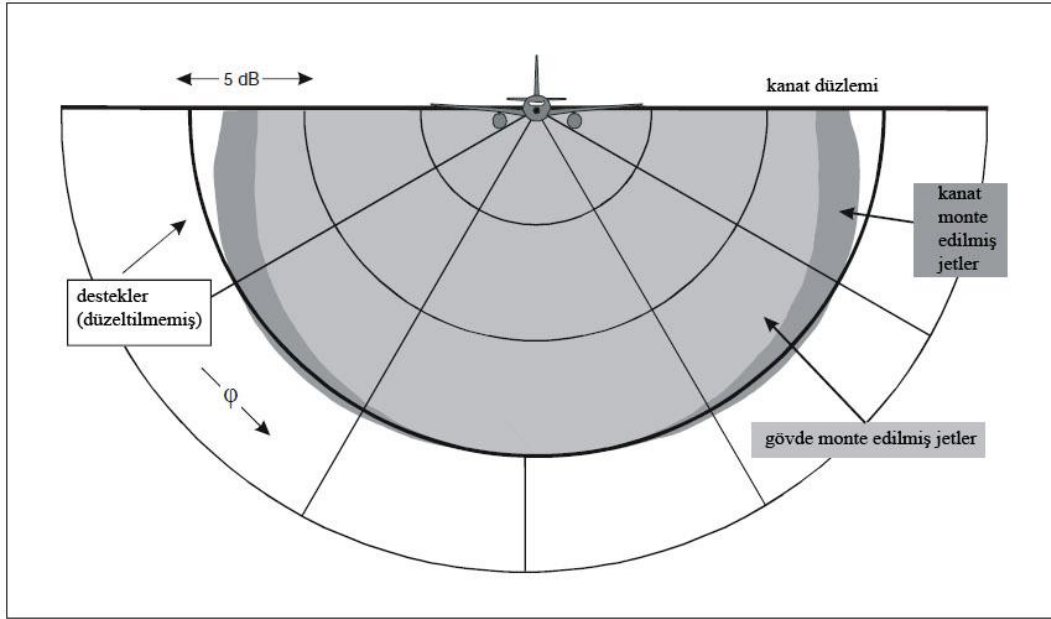
**Şekil 3.15 :** Uçuş yolu normal düzleminde uçak-gözlemci açıları (ICAO Doc 9911, 2008)

Şekil 3.16 üç-motor kurulumlar için uçak roll ekseninde  $\Delta I(\varphi)$  değişimini gösterir. Bu deneysel ilişkiler ağırlıklı kanadı altında yapılan deneysel ölçümlerden SAE ile elde edilmiştir. Yukarıda kanat verileri analiz edilene kadar, negatif  $\varphi$   $\Delta I(\varphi) = \Delta I(0)$  için tüm yüklemeler için tavsiye edilir.

Bu  $\Delta I(\varphi)$ , iki-boyutlu olduğu kabul edilir, yani bu uçak dan gözlemcinin uzunlamasına mesafe ile değişmez ki herhangi başka bir parametre üzerinde de özellikle bağlı değildir. Mekanizmalar daha iyi anlaşılana kadar bu modelleme kolaylık olur; gerçekte, montaj efektleri ölçüde üç boyutlu olmak zorundadır. Buna rağmen, iki boyutlu bir model olay düzeylerinin yakın segmentinden yanlara yayılan gürültü hâkim olma eğilimindedir.

#### **Yanal zayıflama $\Lambda(\beta, l)$ (sonsuz uçuş yolu)**

Tablolaştırılmış NPD olay düzeylerinin sabit düzeyde uçuş ile ilgili ve genellikle uçağın altındaki yumuşak düz bir zemin üzerinde 1.2 m (4 ft) yapılan ölçümler dayanmaktadır; mesafesi parametre yüzey yüksekliğinde etkindir. Uçak altındaki olay gürültü seviyeleri üzerindeki yüzeye herhangi bir etki, bu tablo seviyelerde serbest alan değerleri farklı olmasına neden olur, veri (mesafe ilişkileri karşı düzeyi şeklinde) doğal olarak kabul edilir.



**Şekil 3.16 :** Üç motor montaj etkilerinin yanal yönelmesi (ICAO Doc 9911, 2008)

Uçuş yolunun yan tarafı için, mesafe parametre minimum eğik mesafe uçuş yoluna alıcıdan normal uzunluğudur. Herhangi bir yanal konumunda gürültü seviyesi genelde hemen uçağın altında aynı mesafeden daha az olacaktır. Yanal yönsel veya "Montaj etkileri" dışında, bu ses seviyesi NPD eğrileri tarafından belirtilenden daha mesafe ile daha hızlı düşmesine neden olan bir aşırı yanal zayıflama kaynaklanmaktadır. Uçağın gürültü yanal yayılım modellenmesi için bir önceki, yaygın olarak kullanılan yöntem, AIR-1751'de SAE International tarafından geliştirilen ve aşağıda açıklanan algoritmalar SAE Uluslararası AIR-5662 tarafından önerilen iyileştirmelere dayanmaktadır. Yanal zayıflama yüzeyinden yansıyan ses doğrudan yayılır ve aradaki parazit nedeniyle, bir yansıma etkisidir. Bu yüzey doğasına bağlıdır ve düşük bir yükseklik açısında gözlemlenen ses seviyeleri önemli bir azalmaya neden olabilir. Ayrıca güçlü rüzgar ve sıcaklık değişimlerine ve türbülansın neden olduğu kararlı ve kararsız ses kırılması, etkilenir. Örneğin bütün yüzeye varlığı bağlanabilir. Yüzey yansıma mekanizması iyi anlaşılmaktadır ve düzgün yüzeye ve atmosferik koşullar için, bazı hassas teoriler tarif edilebilir.

$\Lambda T (\beta, l)$  ve yan kısma yanal olarak yönsel oluşturuyor olduğu gibi, ikinci substraksiyon ile elde edilebilir. (Non-dönüş uçuş için uygun)  $\beta$  yerine gövde monte katsayıları ve  $\phi$  ile, denklem 3.37 kullanılarak yanal direktivite olarak nitelendiren yanal zayıflama:

$$\Lambda (\beta, l) = \Lambda T (\beta, l) - \Delta I (\beta) \quad (3.38)$$

$\beta$  ve  $l$  düzeyinde uçuş için, aynı zamanda dikey, sonsuz uçuş yolu normal bir düzlemde Şekil 3.15'te gösterilmiştir.

$\Lambda(\beta, L)$  doğrudan AIR-1751'den alınan  $\Lambda T(\beta, L)$  ile denklem 3.38 kullanılarak hesaplanan şekliyle kurulabilmesine rağmen, daha verimli bir ilişki tavsiye edilir. AIR-5662'den alınan ampirik yaklaşım şudur:

$$\Lambda(\beta, l) = \Gamma(l) \cdot \Lambda(\beta) \quad (3.39)$$

$\Gamma(l)$  bir mesafe faktörü olduğunda;

$0 \leq l \leq 914$  m için

$$\Gamma(l) = 1.089 \cdot [1 - \exp(-0.00274l)]$$

$l > 914$  m için

$$\Gamma(l) = 1 \quad (3.40)$$

ve  $\Lambda(\beta)$  tarafından verilen hava-toprak yanal zayıflama uzun menzilli olduğunda;

$0^\circ \leq \beta \leq 50^\circ$  için

$$\Lambda(\beta) = 1.137 - 0.0229\beta + 9.72 \cdot \exp(-0.142\beta)$$

$50^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$  için

$$\Lambda(\beta) = 0 \quad (3.41)$$

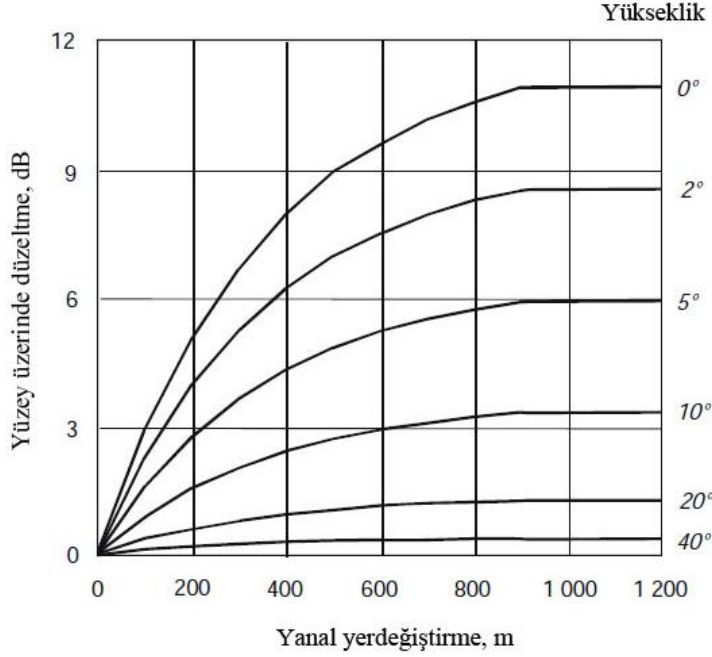
Tüm uçaklar, pervaneli uçakların yanı sıra gövde montajlı ve kanatlara monteli jetler için iyi çalışması kabul edilir ve yanal zayıflama  $\Lambda(\beta, l)$ , denklem 3.39 için ifadesi, Şekil 3.17 grafiksel olarak gösterilir.

B'nın sıfırdan daha az olması belirli koşullar (arazi ile) altında mümkündür. Bu gibi durumlarda,  $\Lambda(\beta) = 10.57$  alınması tavsiye edilir.

### **Sınırlı segment yanal zayıflama**

Denklem 3.40; sonsuz, yatay uçuş yolu boyunca istikrarlı bir uçağın bir uçuşunun gözlemci tarafından alınan ses yanal zayıflamasını  $\Lambda(\beta, l)$  açıklar. Bunu uygularken, seviyesi olmayan sonlu yol parçaları, zayıflamanın basit bir uzantısı üzerindeki en yakın noktası olarak eşit düzeyde bir yol için hesaplanmalıdır - eğimli segment (bir noktada yer yüzeyi geçtiği) genellikle uygun bir yükseklik açısı  $\beta$  için verimli değildir.

Sonlu segmentler için yanal zayıflatmanın belirlenmesi  $L_{max}$  ve  $L_E$  ölçümleri için belirgin bir farklılık gösterir. Segment maksimum seviyelere  $L_{max}$  segmentinde en yakın noktadan yayılım mesafesi  $d$  fonksiyonu olarak NPD verilerinden belirlenir; hiçbir düzeltme segment boyutları hesabı gerekmemektedir. Aynı şekilde,  $L_{max}$  yanal zayıflatma sadece yükseklik açısına bağlıdır varsayılır ve zemin mesafesi aynı noktada etmektedir. Bu nedenle, bu noktanın sadece koordinatları gereklidir. Ama  $L_E$  için, süreç daha karmaşıktır.



**Şekil 3.17 :** Yükseklik açısı ve mesafe ile yanal zayıflama değişimi  $\Lambda(\beta, l)$  (ICAO Doc 9911, 2008)

Düzeltilmeler  $\Delta_V$  ve  $\Delta_I$  ekleme ve NPD taban seviyesinden yanal zayıflama  $\Lambda(\beta, l)$  çıkarılarak, sonsuz düz yolda eşdeğer sabit düzeyde uçuş için düzeltilmiş olay gürültü seviyesini sağlar. Ama gerçek uçuş yolu kesimlerinin modellenen gürültü konturlarını etkileyecek nitelikte olanlar nadiren vardır; uçaklar genellikle tırmanır veya alçalır.

### Sonlu segment düzeltmesi $\Delta_F$ ( $L_E$ maruziyet seviyesi)

Ayarlanmış başlangıç gürültü maruziyet düzeyi sürekli, düz, sabit düzeyde uçuş sırasındaki bir uçak (düz uçuş ile tutarsız bir banka açısı  $\epsilon$  ile de olsa) ile ilgilidir. (Negatif) sonlu segment düzeltilmesi uygulama hızındaki  $\Delta_F = 10 \cdot \log(F)$ ,  $F$  enerjisi uçağın sadece sonlu kademeli geçiş seviyesini ayarlar.



Enerji fraksiyonu F, Şekil 3.12-3.14'teki rakamlar ile tanımlanan "görünümü" üçgen OS<sub>1</sub>S<sub>2</sub> bir fonksiyonudur:

$$\alpha_1 = -\frac{q}{d_\lambda}; \quad \alpha_2 = -\frac{q-\lambda}{d_\lambda};$$

$$d_\lambda = d_0 \cdot 10^{(L_E \infty (P,dp) - L_{\max}(P,dp))/10};$$

$$d_0 = \frac{2}{\pi} \cdot V_{ref} \cdot t_0 \quad \text{ile};$$

$$\Delta_F = 10 \cdot \log\left(\frac{1}{\pi} \left(\frac{\alpha_2}{1+\alpha_2^2} + \tan^{-1} \alpha_2 - \frac{\alpha_1}{1+\alpha_1^2} - \tan^{-1} \alpha_1\right)\right) \quad (3.42)$$

$d_\lambda$  "ölçekli mesafe" olarak bilinen yerde.  $L_{\max}(P, d_p)$  dikey mesafe  $d_p$  için NPD verilerindeki maksimum seviyededir.

Her take-off zemin silindir segment ve önde her iniş zemin silindir segment yerle arkasındaki gözetleme yerleri için gürültü fraksiyonu özel bir form denklem 40'ta yerine kullanılır.  $\alpha_2 = \lambda/d_\lambda$  ve  $\Delta_{SOR}$  start-of-silindir yöneltme işlevi olduğu aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır.

$$\Delta_F' = 10 \log\left[\left(\frac{1}{\pi}\right) \left[\frac{\alpha_2}{1+\alpha_2^2} + \tan^{-1} \alpha_2\right] 10^{\Delta_{SOR}/10}\right] \quad (3.43)$$

### Başlangıç noktası yöneltme işlevi $\Delta_{SOR}$

Jet uçaklarından (özellikle düşük bypass oranı motorları ile donatılmış olanlar) gürültüsü jet egzoz gürültüsü karakteristik arkaya yay, bir loblu radyasyon modeli sergiler. Bu desen, daha fazla püskürtü hızı yüksek olduğu zaman belirgin ve uçak hızı düşüktür. Bu iki koşul yerine getirildiğinde başlangıç noktası, arkasında gözetleme yerleri için özel bir öneme sahiptir. Bu etki bir yöneltme işlevi  $\Delta_{SOR}$  tarafından dikkate alınır.

Şekil 3.18 başlangıç noktasındaki yöneltme işlevi  $\Delta_{SOR}$  için ilgili geometrisini göstermektedir. Gözlemci için uçağın uzunlamasına eksenini ve vektör arasında azimut açısına  $\Psi$  ile tanımlanır:

$$\Psi = \cos^{-1}\left(\frac{q}{d_{SOR}}\right) \quad (3.44)$$

Q izafi mesafe (Şekil 10) negatif, böylece  $\Psi$  aralıkları ileri ters yönde  $180^\circ$  başlığı uçağın yönünde  $0^\circ$  dir.

Parametreleri,  $d_{sor}$  ve  $\Psi$  değil başlangıç bölgesinin-roll noktası, her bir toprak parçasının başlangıcına göre hesaplanır.

$\Delta_{SOR}$  için başlangıç noktası, arkasındaki pozisyonlarda uygulanır  $90^\circ < \Psi \leq 180^\circ$ , kalkış zemin parçasından kaynaklanan tüm gürültü tarafından oluşturulan kısmi etkinlik düzeyine:

$$L_{TGR}(d_{SOR}, \Psi) = L_{TGR}(d_{SOR}, 90^\circ) + \Delta_{SOR}(d_{SOR}, \Psi) \quad (3.45)$$

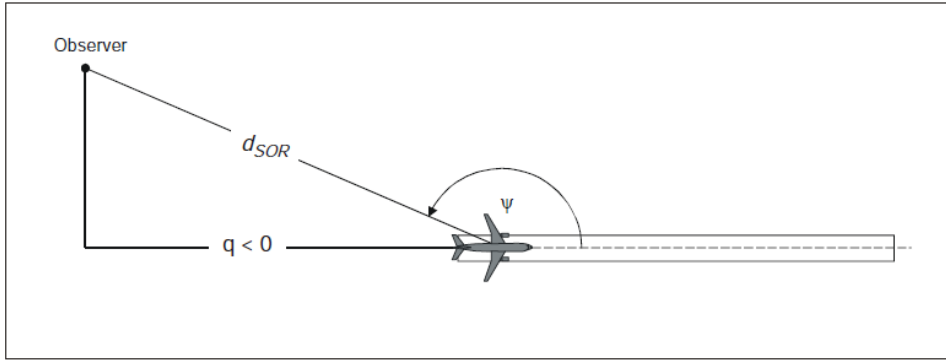
$L_{TGR}(d_{SOR}, 90^\circ)$  SOR tarafına nokta mesafesi  $d_{SOR}$  tüm kalkış zemin parçaları tarafından oluşturulan olay düzeyidir. SOR yöneltme işlevi tarafından verilir.

Eğer  $90^\circ \leq \Psi < 148.4^\circ$  ise

$$\Delta_{SOR}^\circ = 51,47 - 1,553 \cdot \Psi^2 - 0,000047173 \cdot \Psi^2$$

ve  $148.4^\circ \leq \Psi \leq 180^\circ$  ise

$$\Delta_{SOR}^\circ = 339,18 - 2,5802 \cdot \Psi - 0,0045545 \cdot \Psi^2 - 0,000044193 \cdot \Psi^2 \quad (3.46)$$



**Şekil 3.18 :** Yönsel düzeltme tahmini için uçak-gözlemci geometrisi (ICAO Doc 9911, 2008)

Mesafe  $d_{SOR}$ , normalize mesafe  $d_{SOR,0}$ 'u 762 m (2 500 ft) aşarsa, direktivite düzeltmesi uçaktan daha uzun mesafeler için daha az belirgin gerçeğini hesaba katmak için bir düzeltme faktörü ile çarpılır, yani

$d_{SOR} < d_{SOR,0}$  ise;

$$\Delta_{SOR} = \Delta_{SOR}^\circ$$

Ve  $d_{SOR} > d_{SOR,0}$  ise;

$$\Delta_{SOR} = \Delta_{SOR}^\circ \cdot \frac{d_{SOR,0}}{d_{SOR}} \quad (3.47)$$

### 3.4.4 Kümülatif düzeylerin hesaplanması

Tek bir gözlemci için tek bir uçak hareketi durumunda ses gürültü seviyesinin hesaplanması açıklanmaktadır. O konumda toplam gürültü maruziyeti tüm gürültü-

önemli uçağın hareketlerinin olay düzeylerinin birikimi hesaplanır, yani kümülatif seviyesini etkileyen gelen veya giden tüm hareketleri.

#### 3.4.4.1 Ağırlıklı eşdeğer ses seviyeleri

Uçağın ses enerjisi hesabı, zaman ağırlıklı eşdeğer ses seviyeleri, formül tarafından genel bir şekilde ifade edilebilir

$$L_{eq,W} = 10 \log \left[ \frac{t_0}{T_0} \sum_{i=1}^N g_i \cdot 10^{L_{E,i}/10} \right] + C \quad (3.48)$$

Gürültü indeks toplamı uygulandığı zaman aralığı boyunca her  $T_0$  N gürültüsü etkinlik üzerinde gerçekleştirilir.  $L_{E,i}$  i-inci gürültüsü olayı tek bir olay gürültüsü maruziyet seviyesidir.  $g_i$  bir zaman günün-bağımlı ağırlıklandırma faktörü (genellikle gündüz, akşam ve gece dönemleri için tanımlı) olur. Etkili  $g_i$  belli dönemlerde meydana gelen uçak sayısı için çarpan bir periyottur. C sabitinin farklı anlamları (sabit, mevsimsel ayarlama, vb normalleştirme) olabilir.

Bu ilişkiyi kullanarak

$$g_i = 10^{\Delta_i/10}$$

$\Delta_i$  dönemi için desibel ağırlıklandırma, denklem 3.49 olarak yazılabilir

$$L_{eq,W} = 10 \log \left[ \frac{t_0}{T_0} \sum_{i=1}^N 10^{L_{E,i} + \Delta_i/10} \right] + C \quad (3.49)$$

günlük zaman ağırlığı yani ofset bir katkı maddesi seviyesi ile ifade edilir.

Bazı gürültü endeksleri maksimum gürültü olay düzeylerinin ziyade zaman entegre ölçümleri dayanmaktadır. Bir örnek ortalama maksimum ses seviyesi:

$$\overline{L_{max}} = 10 \log \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N 10^{L_{max}/10} \right] \quad (3.50)$$

Ortak uygulamalar nispeten düşük eşdeğer ses seviyesi ancak yüksek maksimum seviyelerin (jet işlemleri nispeten az sayıda örneğin meydanlar) ile durumlardır.

$\overline{L_{max}}$  ve olay sayıları hem de N şeklinde bir ilişki ile bazı endekslerin hesabı:

$$\text{İndeks} = \overline{L_{max}} + K \log N \quad (3.51)$$

Burada, sabit K olay numaraları verilmiş olan nispi ağırlığını tanımlar.

Özel bir dizin "*Eşik Üstü Numarası*",  $NAT_x$ 'dir.  $NAT_x$  maksimum ses seviyeleri X (dB) ulaşan veya bir eşik değeri aşan gürültüsü olayların sayısıdır. NAT kriterleri günün belirli saatlerinde (örneğin  $NAT_{Night, 70}$ ) için tanımlanabilir.

#### 3.4.4.2 Faaliyet ağırlıklı sayısı

Kümülatif gürültü seviyesi havalimanına uygun farklı uçuş rotaları kullanarak uçağın her farklı tip ve kategorilerde gelen katkıları toplanarak tahmin edilmektedir.

Bu toplama işlemi tanımlamak için aşağıdaki simgeler tanıtıldı:

i uçak türü veya kategorisi için indeksi;

j uçuş parça veya alt-ray için dizin (alt-parça tanımlı ise) ve

k uçuş pisti segment indeksi.

Birçok gürültü endeksleri kendi tanımına  $g_i$  zaman günün-ağırlıklandırma faktörleri (denklem 2.49) bulunmaktadır. Ortalama maksimum seviyeleri (denklem 2.50), ağırlıklandırma faktörleri için  $g_i$  metrik gün veya tam 24 saatlik belirli zamanlarda içerip içermediğine bağlı olarak, genellikle 1 veya 0'dır.

Toplam süreci bir "operasyon ağırlıklı sayısı" getirerek basitleştirilebilir.

$N_{ij}$  sırasıyla uçak gündüz, akşam ve gece dönemlerinde parçaya (ya da alt-parça) j türü / i kategorisinde faaliyet sayıları temsil değerleri olduğunda:

$$M_{ij} = (g_{day} \cdot N_{ij,day} + g_{evening} \cdot N_{ij,evening} + g_{night} \cdot N_{ij,night}) \quad (3.52)$$

Denklem 48'den itibaren, gözlem noktasındaki (jenerik) kümülatif eşdeğer ses düzeyi  $L_{eq}(x,y)$ 'dir.

$T_0$  referans süre, ve  $L_{E,ijk}$  kategori i uçağın bir işlem için parça veya alt-track j segment k tek bir olay gürültü seviyesinin katkısı olduğunda:

$$L_{eq,w}(x,y) = 10 \log \left[ \frac{t_0}{T_0} \cdot \sum_i \sum_j \sum_k M_{ij} \cdot 10^{L_{E,ijk}(x,y)/10} \right] + C \quad (3.53)$$

#### 3.4.4.3 Kümülatif maksimum seviye bazlı ölçütlerin tahmini

Birikimli eşdeğer ses düzeyini hesaplamak tüm gürültü-önemli uçağın hareketlerinin  $L_E$  olay düzeylerinin doğrudan bir toplanmasıdır. Kümülatif maksimum seviye ölçümlerini daha basittir. Tanım olarak, bir maksimum ses düzeyi tek gürültü yaratan olay bağlıdır. Ancak, tek bir uçağın hareketi belirli bir gözlemci konumda birden

fazla ses olayını (kendi uçuş yolu alınan ses şiddeti birden fazla yükseliş ve düşüş neden olması) üretebilirsiniz.

Ayrıca, aşağıdaki alternatif tanımlar tarafından gösterildiği gibi farklı ölçümleri genel ifadesi "maksimum ses seviyesi" farklı anlamları:

Gözlemci konumunda meydana gelen tüm gürültü yaratan olay, 5-2 eşitlik ile ortalama maksimum ses seviyesi tanımlanmış;

Ortalama maksimum ses gözlemci konumunda belirtilen eşik seviyesi  $L_T$ 'yi aşan tüm gürültü olayların 5-2 eşitlik ile tanımlanan düzeyi, veya

Mutlak maksimum seviyede (yani "yüksek maksimum" seviyesi). Bu durumda, tek bir gürültü olayının gürültüye katkısıdır.

Bu maksimum ses seviyesinin metrik özel agregasyon ihtiyacını gösterir.

Eşik yok iken ortalama maksimum ses seviyesi; gözlemcinin konumu (x, y) olarak aşağıdaki formül ile ifade edilebilir.

$u(k) = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}$  olduğunda;

$$\overline{L_{max}(x,y)} = 10 \log [\sum_i \sum_j \sum_k 10^{L_{E,ijk}(x,y)/10} \cdot u(k)] - 10 \log [\sum_i \sum_j \sum_k M_{ij} \cdot u(k)] \quad (3.54)$$

Bir gürültü olayı  $L_{max,ijk}$  maksimum düzeyde ise; fonksiyonu  $u(k)$   $L_{max,ijk}$  gürültü yaratan bir olay ya da en üst düzeyde olan maksimum segment seviyesinde belirler.

Bir eşik değeri  $L_T$  ile ortalama maksimum ses seviyesi; maksimum seviyelere ulaşan veya eşik değeri aşan  $L_T$  ile sadece gürültü yaratan olay garanti toplamı sürecine

dâhil edilerek  $\begin{cases} L_{maxijk} < L_T \\ L_{maxijk} \geq L_T \end{cases}$  olduğunda  $u(k) = \begin{cases} 0 \\ 1 \end{cases}$  ise;

$$\overline{L_{max}(x,y)} = 10 \log [\sum_i \sum_j \sum_k 10^{L_{maxijk}(x,y)/10} \cdot v(k)] [\sum_i \sum_j \sum_k M_{ij} \cdot v(k)] \quad (3.55)$$

Gözlem noktasında meydana gelen tüm parazit olaylar, sadece en yüksek maksimum seviyesi hesaplanır talep edilirse, karşılık gelen denklem oldukça basittir:

$$L_{max,(x,y)} = \max(L_{max,ijk}) \quad (3.56)$$

Eşik kriteri üzerinde bir dizi tahmini için denklemi ortalama maksimum ses seviyesi ile benzerdir.

$$NAT_{LT}(x,y) = \sum_i \sum_j \sum_k M_{ij} \cdot u(k) \cdot v(k) \quad (3.57)$$

#### 3.4.4.4 Maksimum seviye ölçütleri için seviye dağılımları

Metodoloji aynı yolda aynı uçak türündeki tüm hareketler için aynı maksimum ses seviyesini verir. Bu  $\overline{L_{max}}$  ve NAT hatlarını gerçekçi süreksizliklerinden yol açabilir. Gerçekte, hiçbir ani değişiklikler vardır; hesaplanan  $\overline{L_{max}}$  sadece merkezi değeri  $L_0$  hakkında dağılmış olay düzeylerinin tahmini ortalamasıdır. Bu dağılım gerçekçi bir standart sapma S bir Gaussian dağılım fonksiyonu ile tarif edilebilir:

$$w(L_{max}, L_0, S) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot S} \cdot \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{L_{max} - L_0}{S}\right)^2\right] \quad (3.58)$$

Şekil 3.19'de bir düzeye bir dağıtım şemasını gösterir.

Bu dağılım fonksiyonu medyan değeri  $L_0$  genellikle normal desibel ortalaması ölçümlerinden türetilmiş olduğu gibi, NPD veritabanlarında depolanan değeri  $\bar{L}$ , eşit olmadığını belirtmek gerekir. Bu standart sapma bağlı olan bir miktar ile dağıtım medyan değeri daha yüksek olduğunda:

$$\bar{L} = L_0 + \frac{S^2 \cdot \ln 10}{20} = L_0 + 0,115 \cdot S^2 \quad (3.59)$$

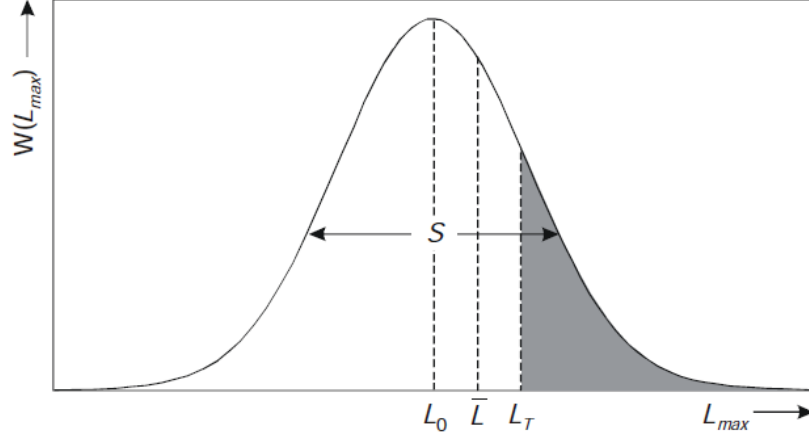
Standart sapma S için karakteristik değeri yaklaşık 2 dB olarak operasyonel ölçümleri görülmektedir. Logaritmik ve aritmetik ortalamalar arasındaki seviye farkı sonuçları yaklaşık 0.5 dB.

NAT değerleri tahmin edilirken benzer nedenlerle, dağıtık düzeyleri dikkate alınmalıdır. Nedeni Şekil 3.19'da açıktır: Bu durum için  $L_0$ ,  $\bar{L}$  hem eşik seviyesi  $L_T$  daha azdır. Dağılımı dikkate alınmaz ise, NAT katkısı sıfıra eşit olacaktır. Bununla birlikte, dağıtılmış seviyeleri ile bir eşik değerinden daha yüksektir ve bu nedenle toplam NAT katkıda bulunur. Dağıtım dikkate almak için denklem 3.56 sürekli bir dağılım fonksiyonu üzerinde bir tamamlayıcı olursa işlev  $v(k)$  ile temsil edilen ayrı bir adım değiştirilmesiyle modifiye edilir:

$$NAT_{LT}(x,y) = \sum_i \sum_j \sum_k [M_{ij} \cdot u(k) \cdot \int_{L_T}^{\infty} w(L_{max,ijk}, L_{0,k}, S) dL_{max,ijk}] \quad (3.60)$$

Programlama amaçlı bu integral polinom yaklaşımları matematiksel el kitaplarında bulunabilir.

Bu aritmetik ortalama  $L_{0,k}$  olduğunu belirtmek gerekir, ANP veritabanındaki gibi, maksimum değerler eğer denklem 3.59'a göre elde edilirse logaritmik ortalamasını ölçümlere dayanan verilerden tahmin edilmektedir.

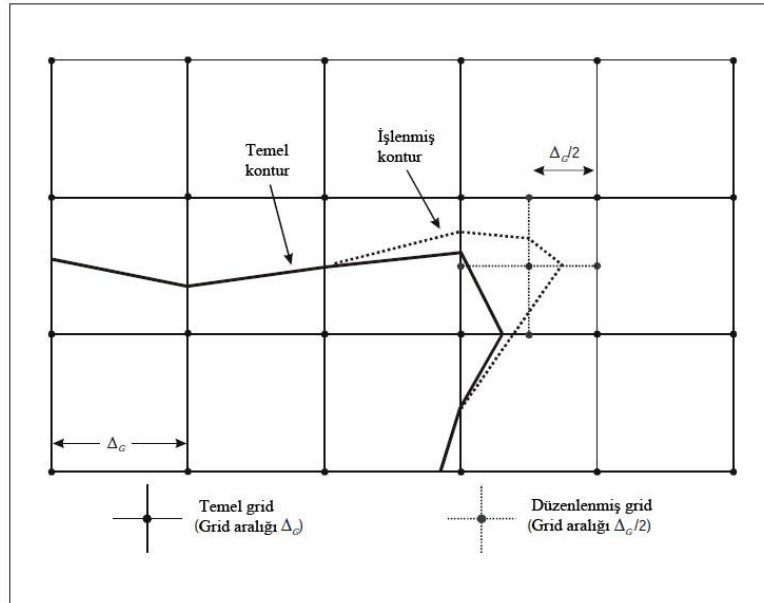


Şekil 3.19 : Maksimum ses seviyesi dağılımı gösterimi (ICAO Doc 9911, 2008)

### 3.4.5 Gürültü konturlarının hesaplanması

#### 3.4.5.1 Standart ızgara hesaplama ve ayrıntılandırma

Endeksin mekansal dağılımında büyük gradyanlar sıkı eğriliğin neden olduğu gürültü konturları dikdörtgen aralıklı ızgara noktalarındaki indeks değerleri arasında enterpolasyon yoluyla elde edildiğinde, bunların doğruluğunu özellikle hücrelerin içindeki ızgara aralığı (ya da mesh boyutu) işaretiyle karar verilir (Şekil 3.20). İnterpolasyon hataları ızgara aralığını azaltır ama ızgara noktası sayısı arttıkça, hesaplama süresi artar. Düzenli bir ızgara örgü optimize dengeleme modelleme doğruluğunu ve çalışma zamanını içerir.

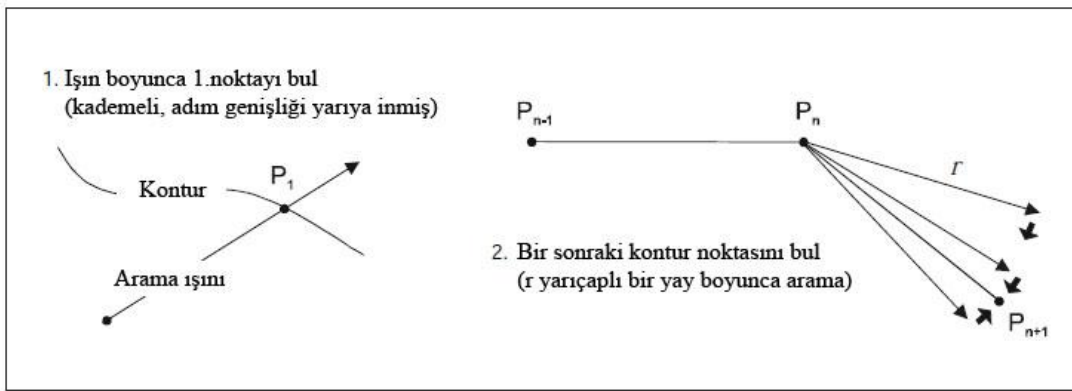


Şekil 3.20 : Standart ızgara ve ızgara ayrıntılandırma (ICAO Doc 9911, 2008)

### 3.4.5.2 Kontur takibi

Biraz daha hesaplama karmaşıklığı pahasına indeks değerleri tam bir ızgara hesabı için gereğini ortadan kaldırır. Bu seçeneğin (Şekil 3.21) gerçekleştirilmesi ve tekrarlanması için iki temel adım gereklidir:

*Adım 1* kontur üzerindeki birinci noktada  $P_1$  bulmaktır. Bu seviye  $L_C$  gerekli kontur geçmeye beklenen bir "arama ışınları" boyunca eşit adımlarla gürültü endeks seviyesi  $L$  hesaplanarak yapılır. Kontur geçildiği zaman,  $\delta = L_C - L$  farkı işareti değiştirir. Bu durumda, ışın boyunca adım genişliği yarıya ve arama yönü tersine çevrilir. Önceden tanımlanmış eşik hassasiyeti  $\delta$  daha küçük oluncaya kadar bu yapılır.



Şekil 3.21 : Algoritma takip kavramı temel adımları (ICAO Doc 9911, 2008)

*Adım 2*, geçerli noktasından belirtilen doğrusal mesafe  $r$  olan - kontur yeterince iyi tanımlanmış kadar tekrarlanır, kontur  $L_C$  sonraki noktayı bulmaktır. Ardışık açılarda, endeks seviyeleri ve farklılıklarıyla  $\delta$   $r$  yarıçaplı bir yay açıklayan vektörler ucunda hesaplanır. Benzer bir şekilde yarıya indirmek ve vektör yönde aralıklarla tersine olarak, bir sonraki kontur noktası tespit edilir.

Bazı kısıtlamalar ile konturun (Şekil 3.22) yeterli derecede tahmin edildiğini garanti etmek gereklidir:

- Kiriş uzunluğu  $\Delta c$  (iki kontur noktaları arasındaki mesafe), bir zaman aralığı içinde olmalıdır [ $\Delta c_{min}$ ,  $\Delta c_{max}$ ], örneğin, [10 m, 200 m].
- İki bitişik giriş arasındaki uzunluk oranı uzunlukları  $\Delta c_n$  ve  $\Delta c_{n+1}$  sınırlı olmalıdır örneğin,  $0.5 < \Delta c_n / \Delta c_{n+1} < 2$ .
- Konturun eğriliğinin giriş uzunluğu uyumuyla ilgili olarak, aşağıdaki koşulun yerine getirilmesi gerekir:



$$\phi_n \cdot \max (\Delta c_{n-1}, \Delta c_n) \leq \varepsilon (\varepsilon \approx 15 \text{ m}) \quad (3.61)$$

$\phi_n$  kiriş başlıkları arasındaki farktır.

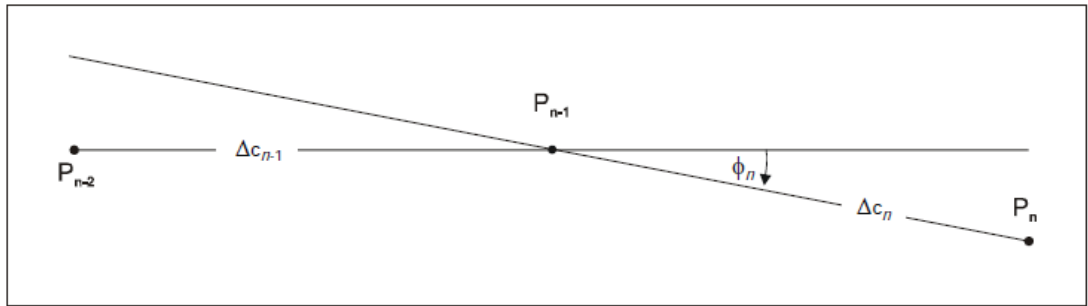
### 3.4.5.3 İşlem sonrası (post-processing)

Genellikle hesaplanan gürültü endeksleri işlem sonucu aşağıdaki verileri içerir:

- Enterpolasyon ve gerekirse gürültü konturlarını düzgünleştirme (varsa dizin bir grid için tahmin edilmiştir)
- Dönüştürme veya birleştirilme gibi ızgara işlemlerini yapmak;
- Çizim (konturlar, pistler, pist, özel gözetleme yerleri ve / veya topografya gösterimi dâhil) ve
- Coğrafi bilgi sistemleri içine gürültü verileri entegrasyonu (CBS) (kapalı nüfus sayıları tahmin etmek gibi).

Şu anda, çeşitli işlem sonuçları araçları ve standartlaştırılmış veri formatları uçak gürültü hesaplama programları veri işleme için uygundur. Bu tür araçlar örnekleri şunlardır:

- NMPLOT: Bu program, gridlerde saklanan gürültü veri olarak ayarlar görüntüleme ve jeo-referanslı verileri düzenlemek için tasarlanmıştır ve
- CBS yazılımı, böyle ESRI ArcView veya MicroStation GeoGraphics (genellikle ticari yazılım).



**Şekil 3.22** : Takip algoritması için şartları tanımlayan geometrik parametreler (ICAO Doc 9911, 2008)

Yaygın olarak kullanılan veri formatları şunlardır:

- ArcView Shapefile biçimi;
- DXF biçiminde AutoCAD veri alışverişi;

c. Intergraph ve MicroStation standart bir dosya ISFF (aynı zamanda DGN olarak da bilinir) ve

d. Gürültü modeli ızgara biçiminde (NMGF).NMGF formatında aslen farklı gürültü modelleri ile birlikte kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Bu NMPLLOT tarafından kullanılır.

Arabirimlerin tanımı için birçok olasılık vardır. Bu doküman ile bir bilgisayar modeli geliştirilmiştir, bu dikkate alınmalıdır.

#### **4. TÜRKİYE, AVRUPA, AMERİKA BİRLEŞİK DEVLETLERİ VE DİĞER BAZI ÜLKELERDE BULUNAN HAVALİMANLARININ GÜRÜLTÜ HARİTALAMA ÖRNEKLERİNİN İNCELENMESİ**

Gürültünün insan sağlığı üzerinde artan tehdidiyle birlikte bu konuda alınan önlemler de artmaktadır. Bu bağlamda, her ülke kendi gürültü düzenleme kanun ve yasaları çerçevesinde farklı aksiyonlar almaktadır. Havayolu, karayolu, demiryolu gibi gürültü kaynakları için kanunlar doğrultusunda yapılan gürültü ölçümlerinin yanında çeşitli simülasyon programları yardımları ile de hem gürültü haritaları hazırlanabiliyor hem de uzun vadede izlenmesi gereken yol planlanabiliyor.

Bu bölümde, Türkiye, Avrupa Ülkeleri, Amerika Birleşik Devletleri ve farklı ülkelerden çeşitli simülasyon programları ve ölçümler ile gürültü haritaları hazırlanmış olan havaalanları incelenmiştir.

##### **4.1 Havalimanı Gürültü Haritalama İle İlgili Türkiye'de Yapılan Örnek Çalışmalar**

Hava operasyonlarına talebin artması ile birlikte, çevre gürültüsünün önemi de zaman içerisinde yükselmiştir. Havalimanı gürültüsü, çevresel gürültü değerlendirildiğinde en önemli gürültü kaynaklarından biri olarak öne çıkmaktadır. Bu da, gürültüye karşı alınacak önlemleri daha önemli hale getirmiştir. ICAO (2005), havalimanı gürültüsünün toplumda algılanan etkisinin ilk olarak 1960larda Uluslar arası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) tarafından ele alındığını belirtmektedir. Gürültünün ve dolaylı olarak insanlar üzerindeki rahatsız edici etkisinin artması ile birlikte ICAO ilk olarak 1971 yılında 'Annex 16: Environmental Protection Volume- International Noise Standards' dökümanını yayınlamıştır.

Ülkemizde de hava alanlarının sayısının ve bu konudaki taleplerin artması ile birlikte havaalanlarında gürültü kontrolüne yönelik çalışmalarda gözle görülür bir artış olmuştur. ECAC Doc 29 baz alınarak çeşitli havaalanlarında gürültü kontrolleri yapılmaya başlanmıştır. İlk olarak Yılmaz (1979), Atatürk Havalimanı'nı ele alarak

gürültü kontrollerini gerçekleştirmiş ve çeşitli çözüm önerileri getirmiştir. Bunu takiben Yılmaz (1986) havaalanı çevresinde arazi kullanım planlaması için uçak gürültü ölçütlerinin saptanmasında kullanılabilecek bir yöntem önerisinde bulunmuştur. Demirkale (Yılmaz), 1990-1994 yılları arasında uçakların yerden kalkış zamanları sırasında gürültü konturlarının saptanması için Atatürk Havaalanı çevresinde bir uygulama çalışması ile birlikte bir de uçağın meteorolojik faktörler sebebiyle kalkış yönünün değişmesinin konturlar üzerindeki etkilerini karşılaştıran bir araştırma yapmıştır. Ayrıca yine 1994-1996 yılları arasında İTÜ araştırma fonu tarafından desteklenen Atatürk Havalimanı ve çevresinde çeşitli meteorolojik faktörler ve pist konumlarını dikkate alarak kalkış ve iniş anındaki uçağın ürettiği gürültüye dair çalışmalar yapmış ve öneriler sunmuştur. Bu çalışmalarını takiben Özkurt ve diğ. (2013) yılında tekrardan Atatürk Havalimanı'nı ele alarak simülasyon tekniğini kullanmış ve yeni sonuçlar elde etmişlerdir. Yine 2013 yılında Sarı ve çalışma arkadaşları Antalya Uluslararası Havalimanı ve Van Ferit Melen Havalimanı'nı ele alarak gürültü haritalama çalışmalarını yapmışlardır. Bunlara ek olarak, İzmir Adnan Menderes Havalimanı, Kayseri Erkilet Havalimanı, Kahramanmaraş Havalimanı, Batman Havalimanı ve Ankara Esenboğa Havalimanı için de gürültü haritalama çalışmaları yakın bir geçmişte tamamlanmıştır.

#### **4.1.1 Atatürk Havalimanı, İstanbul**

İlk kuruluş ismi Yeşilköy Havalimanı olan Atatürk Havalimanı, 1900'lerin başında Türkiye'de hava ulaşımının başladığı ilk yerdir. 2012 verilerine göre dünyanın en yoğun 20. havalimanı olarak belirlenen Atatürk Havalimanı 'nda yine aynı yılın verilerine bakılarak günlük ortalama 1100 uçuş operasyonunun gerçekleştiği görülmüştür. Havalimanında, ikisi 3000x45 metre ve sonradan eklenen 2600x60 metre boyutlarındaki pist ile toplam üç pist bulunmaktadır. Havalimanı 'nın şehir merkezine uzaklığı 24km'dir. Türkiye'de ilk defa havalimanı gürültü incelemesi 1979 yılında Yılmaz tarafından gerçekleştirilirken 2013 yılında tekrar ele alınarak Özkurt ve diğ. tarafından yeniden çalışılmıştır.

##### **4.1.1.1 Metodoloji I, 1979**

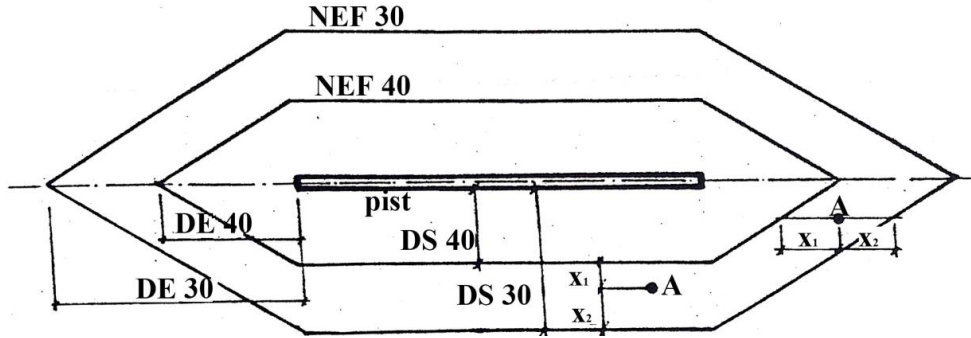
Yılmaz (1979), havalimanı ve çevresindeki yerleşme sınırlarını belirlemek için iki yöntem uygulamıştır:

- Hesaplama yöntemi NEF

- Ölçme yöntemi

Pist sayısı ve birbirleri ile olan konumları incelendikten sonra, havalimanından temin edilen bilgiler sonucunda trafik akışının yaz aylarında yoğunlaştığı görülmüş ve ölçümler yaz ayları verileri doğrultusunda yapılmıştır. Çizelge 4.1'de 1978 yılı havalimanı trafik verileri sunulmuştur. Pist kullanımlarında da kuzey-güney pisti daha yoğun kullanıldığı için ölçümler bu pist üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Yılmaz (1979), o dönemin ölçüm parametresi olan NEF üzerinden hesaplamalarını gerçekleştirmiştir. Öncelikli olarak Çizelge 4.2'den havalimanının ait olduğu sınıfı belirlemiş (3.sınıf) ve sonrasında Şekil 4.1'i esas alarak elde edilen NEF 30 ve NEF 40 değerlerine göre konturları havalimanı ve çevresinde çizmiştir. Sonrasında yapma çevrenin kullanım amacına bağlı olarak bir A alıcı noktası belirlemiş ve 24 saatlik eşdeğer gürültü düzeyini gösteren  $Leq(24)$ 'ü hesaplamıştır ve hesaplamalar sonucu çıkan değer 63 dBA'dır.  $63 \text{ dBA} > 55 \text{ dBA}$  olduğundan, alıcı noktasının yerleşme bölgesi için uygun olmadığını tespit etmiştir. Tekrardan farklı bir B alıcı noktası seçerek yaptığı hesaplamalar ile 55 dBA'yı bulmuştur ki bu da bu noktanın yerleşim bölgesi olarak kullanılabilceğini göstermiştir. Ancak bu yöntem ile 3.boyut sınırlarını hesaplamak mümkün olmadığı için, Yılmaz (1979) bir de hesaplama yöntemi ile çalışma gerçekleştirmiştir.



**Şekil 4.1 :** Tasar Kılavuzu yöntemine göre NEF-30 NEF-40 konturlarının çizimi (Yılmaz, 1979)

Öncelikli olarak yapılan ölçme işlemi, kuzey-güney istikametindeki pistin kuzey ucundan 300m içeride yapılmıştır. Uçakların gürültü düzeylerini ölçmek için yapılan ölçme işleminde, kalkış yapan uçakların iniş yapan uçaklara nazaran daha fazla gürültü ürettikleri gözlemlenmiştir ve Şekil 4.2'de gösterilmiştir. İncelenen 4 farklı uçak tipinin ürettiği maksimum gürültü düzeyleri ise Çizelge 4.3'te sunulmuştur. Ayrıca uçak gürültülerinin dışında havalimanında ölçülen mevcut arka plan gürültüsü

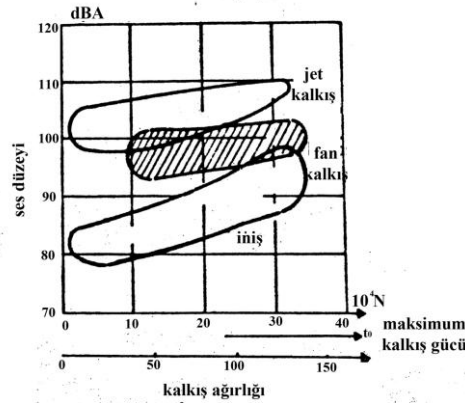
de Şekil 4.3'te verilmiştir. Buna göre, şekil incelendiğinde, elde edilen değerlerin işitme konforu açısından istenen NC-45 eğrisinden çok daha yüksek olduğu söylenebilir.

**Çizelge 4.1 :** Yeşilköy (Atatürk) Havalimanı'nda Max. Uçuş sayısını gösteren gün ve saatler (Yılmaz, 1979).

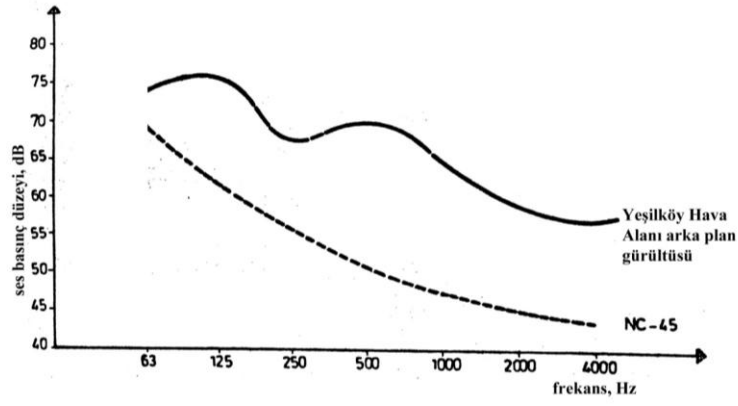
AYLAR	Tarih	UÇAK			YOLCU		
		İnen	Kalkan	Toplam	Gelen	Giden	Toplam
OCAK	7	79	72	151	5330	5196	10526
ŞUBAT	4	68	72	140	9767	4897	9664
MART	18	73	72	145	4298	4620	8919
NİSAN	24	82	87	169	4938	5253	9991
MAYIS	13	82	81	163	4664	4648	9312
HAZİRAN	28	86	90	176	4204	4237	8441
TEMMUZ	29	96	98	194	9373	9928	19321
AĞUSTOS	12	94	95	183	6614	6604	13218
EYLÜL	1	100	98	198	5474	6827	12301
EKİM	13	86	92	178	4421	4655	9076
KASIM	4	77	78	155	4573	4343	8916
ARALIK	23	91	86	177	5899	4146	10045

**Çizelge 4.2 :** Havalimanı sınıfları tablosu (Yılmaz, 1979).

Hava Alanı Sınıfı	Nj	NEF 40		NEF 30	
		DS-40	DE-40	DS-30	DE-30
		(m)	(m)	(m)	(m)
1	0-50	0	0	304.8	1609
2	51-500	304.9	160.9	804.5	4827
3	501-1300	609.6	4022.5	2413.5	9654
4	1300	914.4	643.6	3218	16090



**Şekil 4.2 :** Kalkış gücü ve kalkış ağırlığına göre üretilen ses düzeyi, referans uzaklık: 300m (Yılmaz, 1979)



Şekil 4.3 : Yeşilköy Havalimanı arka plan gürültüsü (Yılmaz, 1979)

Çizelge 4.3 : Uçak tipleri ve maksimum gürültü düzeyleri (Yılmaz, 1979).

Uçak tipleri	Max. Gürültü düzeyleri		Uçaktan olan uzaklık (m)
	dBA	dB	
Boeing 727	100		108.8
DC 9	86	135	108.8
Boeing 707		135	108.8
Caravelle	105		108.8
Tupoloy	105		108.8

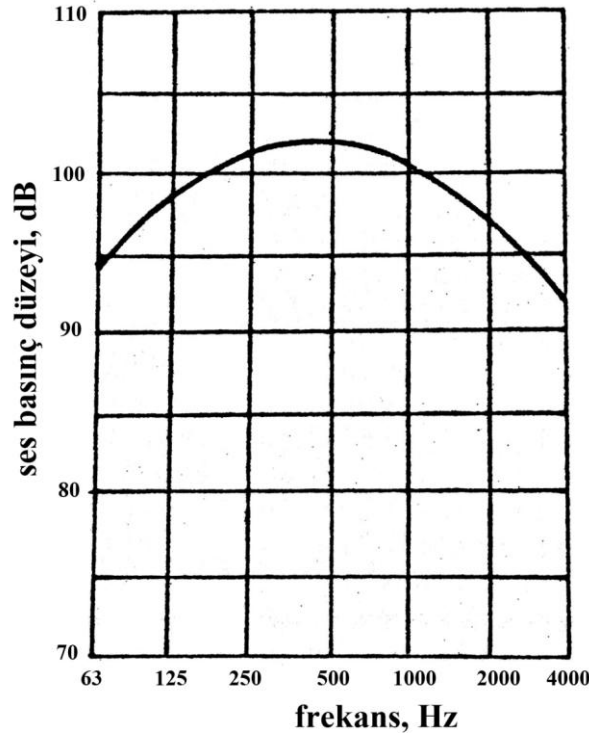
Çizelge 4.3'teki verilere göre, toplam gürültü düzeyi 105 dBA olan uçak gürültüsünün frekans spektrumunu bulmak için aşağıdaki adımlar uygulanmıştır:

- Dökümanlardan referans gürültü düzeyinin elde edilmesi
- Ölçme noktasında uçağa olan uzaklığın bulunması
- Referans gürültü düzeyi kullanılarak ölçme noktasındaki uçak gürültü spektrumunun elde edilmesi

Ölçümlerde; toplam gürültü düzeyi 105 dBA ölçülmüş olan uçak çok hızlı geçtiği için her frekanstaki ses basınç düzeyleri ölçülemedi. Dökümanlardan 150m uzaklıktaki uçağın gürültü spektrumu referans olarak alınmış, ölçüm noktasında toplam gürültü düzeyi ölçülen uçağın frekans spektrumu bulunmuştur (Şekil 4.4).

Sonuca varabilmek için Şekil 4.5'te verilen noktalarda hesaplamalar yapılmıştır. Bu noktaların bir kısmı uçuş izini altında iken bir kısmı uçuş izi dışındadır. Daha sonra ilgili tablolar aracılığı ile elde edilen NL değerleri NEF'e çevrilmiştir. PNL değerini bulmak için her frekanstaki ses basınç düzeylerine karşılık noys cinsinden 'noisiness' bulunup toplanmıştır. Bunun sonucunda elde edilen PNL değerleri de kullanılanlar EPNL hesaplanmıştır. Gerekli noktalarda NEF değerleri bulunarak, bu noktalar plan

ve kesitte işaretlenmiştir. Gerek plan, gerekse kesitte aynı değerdeki noktalar birleştirilerek, NEF eğrileri çizilmiştir.



Şekil 4.4 : Uçağa 108.8m uzaklıkta frekans spektrumu (Yılmaz, 1979)

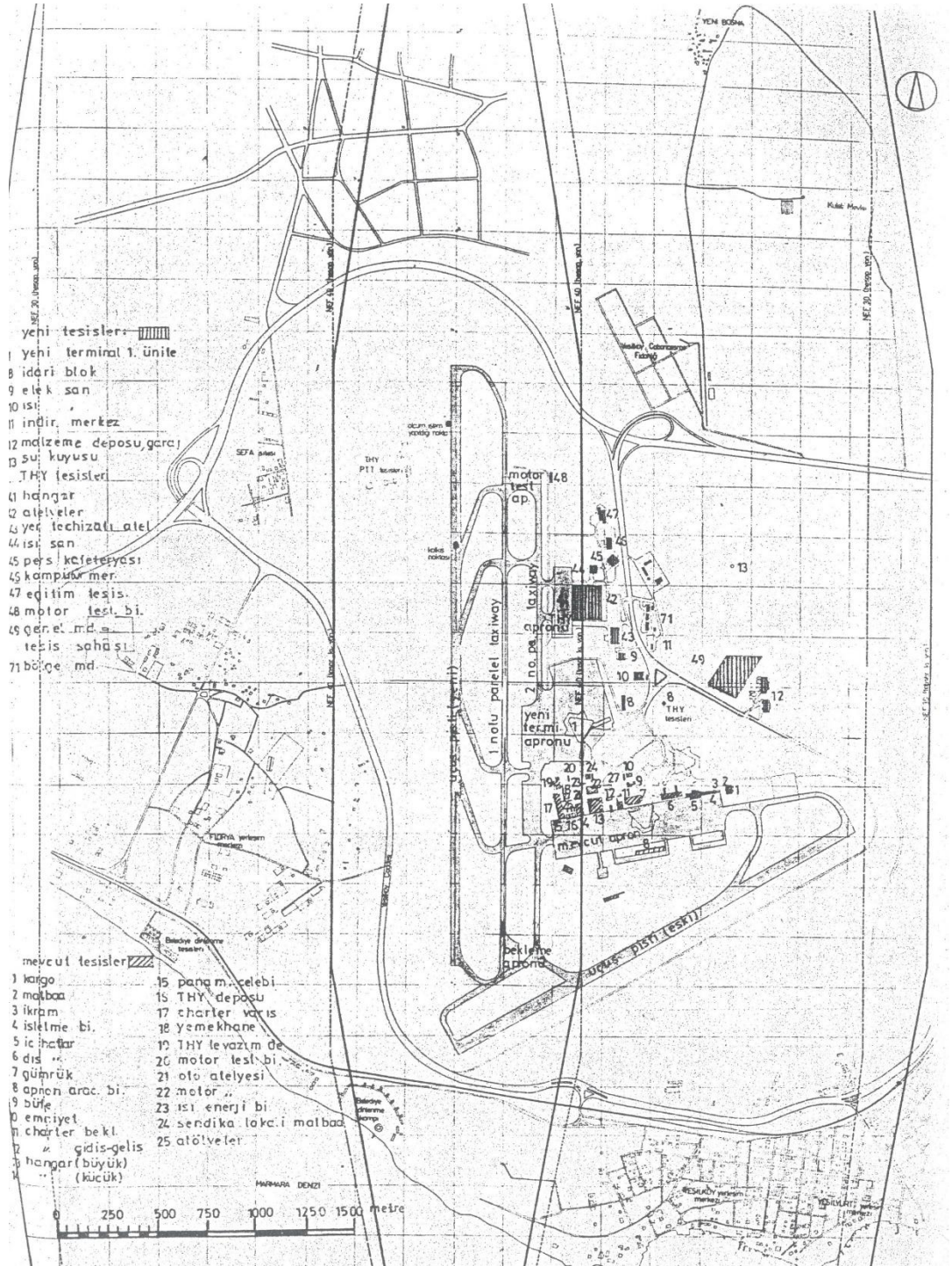
#### 4.1.1.2 Metodoloji II, 2013

Özkurt ve diğ. (2013), çalışma kapsamında SoundPlan yazılımını kullanarak simülasyon tekniğini tercih etmişlerdir. Öncelikli olarak 2011 yılı havalimanı trafik verileri elde edilmiştir.

#### Coğrafi Veritabanı

Yapı yoğunluğu, açık alanların varlığı ve havaalanlarına yakınında bulunan toplu yerleşim yerlerindeki binaların fiziki konumu ve biçimi gibi fiziksel özellikler ve özellikle kent şeklinin çevresel gürültü ve çevre akustiği üzerinde önemli etkilerinin olduğu görülmüştür. END için en uygun Çevresel Gürültü 3D öngörü modelini yaratmak amacıyla, havalimanının önemli ve büyük alanları için, Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS)'ni kullanarak ve konut ve diğer hassas reseptörlere vurgu ile bireysel bina minimum coğrafi birim seviyesi olarak tanıtıldı ve İstanbul Atatürk Havalimanı kentsel yığılma alanının etkisinin Sayısal Arazi Modeli (DTM) kuruldu.





**Şekil 4.5 :** Yeşilköy (Atatürk) Havalimanı çevresi ve hesaplama noktaları (Yılmaz, 1979)

Topografyanın veri girişi optimize etmek ve hesaplama süresini azaltmak için temizlenmiş ve ayıklanmış olması gerekir.

Çalışma alanı, Havalimanı Referans Noktası (ARP) merkezli 25km yarıçaplı bir alanı kapsayacak şekilde seçilmiştir. Çalışma alanı için topografyanın dijital formatlı hali kullanılabilir. DTM için coğrafi veriler İstanbul Büyükşehir Belediyesi

arşivinden Devlet Hava Meydanları İşletmesi Genel Müdürlüğü tarafından toplanmıştır. Modelleme için kullanılan coğrafi veriler, yer bilgileri, bina yükseklikleri, kat sayıları, arazi kullanımı, topografik veriler ve İstanbul Atatürk Havalimanı çevresindeki diğer tüm engellerdir. Havalimanının güneyinde ortalama yükseklik neredeyse deniz seviyesindedir ve 5 katlı binalar bulunmaktadır. Diğer tarafta, çalışma alanı yüksekliği en yüksek değerine sahiptir ve en az 5 katlı binalar bulunmaktadır. Batıda, ortalama yükseklik 35m iken havalimanının doğusunda 10m'dir. Binalar batıda 15 katlı iken doğuda 3 katlıdır. Yazılım içerisindeki coğrafi veriler, bina, yardımcı bina, hastane, okul katmanlarının yüksekliklerini hazırlamak için kullanılmıştır.

### **Gürültü Seviyesi Modellemesi**

Mevcut gürültüyü açıklayan ve gelecekteki gürültü ortamının tahmini için kullanılan yöntemler bilgisayar gürültü modellemesi temeline dayanmaktadır. Gürültü ortamı genel olarak eşit gürültü seviyeleri, gürültü veya kontur hatları açısından gösterilmektedir. Bu çalışmada gürültü seviyelerinin modellenmesi için SoundPlan 7.1 yazılımı kullanılmıştır. Bu simülasyon sonuçları dosyaları şekillendirmek için ihraç edilmiştir; sonrasında 50-m mekansal çözünürlükte raster veri formatında doğrusal interpolasyon algoritması kullanılarak gündüz (07.00-19.00), akşam (19.00-23.00) ve gece (23.00-07.00) gürültü tabakaları oluşturulmuştur.

Çevresel gürültü sorunlarını değerlendirmek için kullanılan modeller ve yöntemler, ilgili ulusal ve uluslararası gürültü kontrolü yönetmelik ve standartlarına göre kullanılan gürültü maruziyet endeksine dayalı olmalıdır.

Eksiksiz gürültü modeli, havaalanları çevresinde gürültü azaltma süreçleri hakkında karar vermek için temel araçtır. Bu sonuçların sunumu için çeşitli çıkış olanakları ile bir bilgisayar programı uygulamaya konmuştur.

2011 yılı mevcut durum araştırma çerçevesinde 4 farklı coğrafi konumda 24 saatlik ölçümlerde kısa bir izleme programı özel mobil gürültü ölçüm aletleri kullanılarak yürütülmüştür; akustik ortamın mevcut kalitesini değerlendirmek amacıyla aşağıdaki gürültü endeksleri gösterilmiştir:

Leq (24 saatlik)

Lmax ve Lmin, ve

END'e göre Lden, Lgündüz, Lakşam ve Lgece

Bu model, ECAC.CEAC.Doc 29'da tarif edilen kriterler ve varsayımlara dayanmaktadır. Ölçümler sırasında en yakın alıcısına yanal mesafesi 914m'den daha büyük olduğu için sakin rüzgar koşulları modeline uygulanmıştır.

Genellikle, deneysel ölçümlerdeki sapma simüle değerlerin belirsizliklerinden daha düşüktür. Belirsizlikler ile ölçüm sonuçları ve hesaplanan model verileri Çizelge 4.4'te sunulmuştur.

**Çizelge 4.4 :** Lden (Lgag) ve Ln (Lgece) için hesaplanan ve ölçülen değerler (Özkurt ve diğ., 2013).

Noktalar	Lden(Lgag) dBA		Lnight (Lgece) dBA	
	Hesaplanan	Ölçülen	Hesaplanan	Ölçülen
1	74.5 ± 0.81	75.3 ± 0.74	68.6 ± 1.69	69.5 ± 1.66
2	70.7 ± 0.83	72.0 ± 0.76	57.6 ± 1.86	57.7 ± 1.83
3	70.5 ± 0.84	72.6 ± 0.77	58.0 ± 1.80	62.4 ± 1.76
4	60.3 ± 0.84	67.4 ± 0.77	53.3 ± 1.81	61.3 ± 1.78

#### **Gürültüye Maruz Kalan Nüfus Tahmini**

SoundPlan programında her bina; konut, okul ve hastane gibi bir dizi özellik taşıyabilir. Okul ve hastane nitelikleri hassas binaları belirlemek içindir. Gürültü seviyesi bandı başına binaların sayısı , bu nitelikler için sayılır.

Gürültüye maruz kalan insanların sayısı, hane başına cephe seviyesi hesaplamaları yoluyla tespit edilir. Gürültüye maruz kalan insanların sayılarını değerlendirmek için iki farklı yöntem kullanılabilir:

*Orantılı maruz kalma:* her cephe seviye noktasından verilen bina sakinlerinin sayısının oransal özelliği

*Yüksek düzeyde maruz kalma:* Yönerge 2002/49/EC ile uyumlu bir binanın tüm sakinleri gürültüye en fazla maruz kalan cepheye atama

Bu çalışmada, 'yüksek düzeyde maruz kalma' yöntemi ses maruz kalan nüfusun boyutunu hesaplamak için kullanılmıştır.

#### **4.1.1.3 Sonuçlar**

Yılmaz (1979), havalimanı ve çevresinde yapılan uygulamalarda, tasar klavuzu ve hesap yöntemi karşılaştırmasında uçuş pistine paralel mesafede her iki yöntemde ayrı

ayrı elde edilen NEF30 hatları arasında 300m'lik bir fark olduğunu gözlemlemiştir. Uçuş pisti uçlarında ise bu farkın 3km'ye çıktığını belirtmiştir. Ancak tasar kılavuzunda verilen yöntemin yerleşme sınırlarını kabaca vermesi sebebiyle, esas olarak ölçme yönteminin alınması gerektiğini de özellikle ifade etmiştir. Bu yöntem sonucunda ise, görüldüğü üzere uçuş pistine paralel doğrultuda 4km'lik bir şerit ile uçuş pisti doğrultusunda 13km'lik şerit içerisindeki alanda yerleşme yapılmamasının uygun olacağı ortaya çıkmıştır. Oysa, 1979 yılı verilerine bakıldığında bu sınırlar içerisinde, Yeşilköy, Yeşilyurt, Florya, Sefaköy ve Yeni Bosna ilçelerinin hali hazırda bulunduğu gözlemlenmiştir.

Özkurt ve diğ. (2013)'ün elde ettiği verilere göre ise, uçak gürültü yazılım programı SoundPlan sonuçları, bölge gürültü göstergeleri ve gürültü endeksine göre konut başına nüfus dağılımı ile ilgili aşağıdaki göstergeleri vermiştir:

Zeminden 4 metre yükseklikte dBA cinsinden Lden değerleri: >55, >65 ve >75

Zeminden 4 metre yükseklikte dBA cinsinden Lgece değerleri: >55, >65 ve >75

END verileri doğrultusunda gürültü seviyeleri yerden 4 metre mesafede hesaplanmıştır. 55, 65 ve 75 dBA eşiklerin aşılma haritasında ayrı ayrı Lden ve Lgece için hazırlanmıştır. Gündüz ve gece süresi için gürültüye maruz kalan tahmini alan ve nüfus sırasıyla Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6'da verilmiştir.

**Çizelge 4.5 :** Toplam alanlar, konut, nüfus ve gürültüye hassas yapılar için tahmini Lden (Lgag) değerleri (Özkurt ve diğ., 2013).

<b>Lden (Lgag)</b>	<b>dBA</b>	<b>Alan (km2)</b>	<b>Konut</b>	<b>Nüfus</b>	<b>Okul</b>	<b>Hastane</b>
>55		66.120	101.500	587.900	105	99
>65		10.695	18.700	109.600	15	1
>75		2.096	200	1100	0	0

**Çizelge 4.6 :** Toplam alanlar, konut, nüfus ve gürültüye hassas yapılar için tahmini Ln (Lgece) değerleri (Özkurt ve diğ., 2013).

<b>Ln (Lgece) dBA</b>	<b>Alan (km2)</b>	<b>Konut</b>	<b>Nüfus</b>	<b>Okul</b>	<b>Hastane</b>
>55	16.770	31.300	181.500	28	1
>65	3.064	1.600	10.200	7	0
>75	0.407	0	0	0	0

Beklendiği gibi, havalimanı çevresi yakınındaki gürültü düzeyleri özellikle kuzey ve kuzey doğuda rotaların geometrik projeksiyon altında olduğu yerlerde gürültü

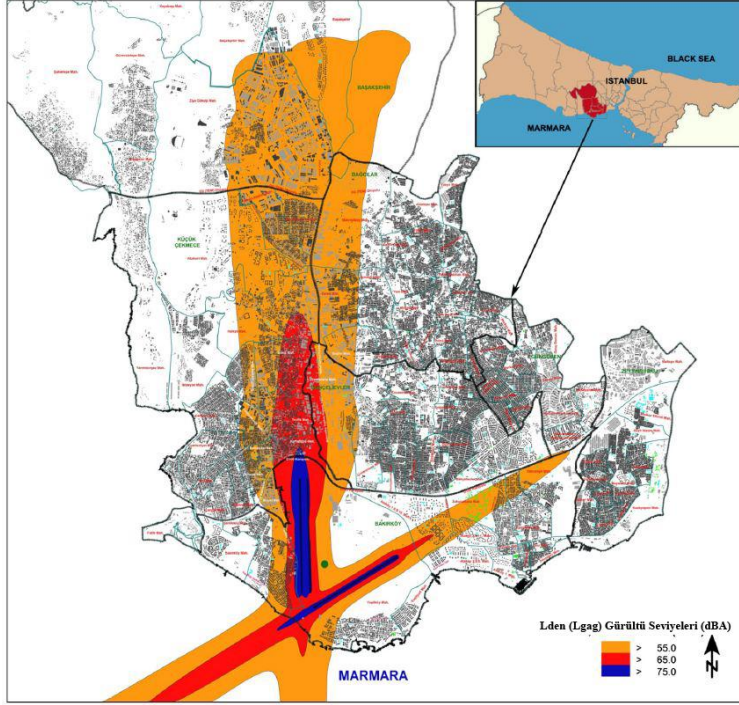
düzeyleri çok yüksektir. Gürültü seviyeleri, havalimanının güney ve doğusunda düşüktür. Şekil 4.6'daki büyütülmüş haritada gösterildiği gibi havalimanının etki alanındaki çoğu parçada, özellikle pistin yönü olan kuzey yönü boyunca gürültü seviyeleri 55 dBA'dan daha yüksektir. Bu çalışma ile, İstanbul'un kara alanının (5313 km<sup>2</sup>) %1.2'sinin (66km<sup>2</sup>) gündüz süresinde 55 dBA barajını aştığı tespit edilmiştir. Ancak, 65 dBA eşiğinin aşılması incelendiğinde etkilenen bölge (kent arazisinin %0.2'si) oldukça küçük bulunmuştur. END'ye göre 75 dBA gürültüyü aşan alan tespit edilmiş olmasına rağmen etkilenen alanın gündüz süresi için önemsiz olduğu tespit edilmiştir. Gece süresinde gürültü düzeyleri anlamlı bırakılmıştır. İstanbul'un yüz ölçümünün yaklaşık olarak %0.3'ü (16.7 km<sup>2</sup>) gece süresince 55 dBA'yı aşmıştır. Ancak, hesaplama sonuçlarına göre bu eşik oldukça küçüktür ve toplam şehir alanı için de ihmal edilmiştir.

Çalışma sonucu elde edilen diğer sonuçlara göre, yerleşik nüfusun yaklaşık %4'ünün gündüz süresinde 55 dBA veya daha fazla ses maruz kaldığını göstermiştir. İkinci eşik kriterleri uygulandığında, nüfusun yaklaşık %1'i 65dBA'dan daha fazla sese maruz kalmıştır. Benzer şekilde, 75 dBA eşiğinin aşılması incelendiğinde, hesaplanan nüfus oranı çok düşük ve önemsiz bulunmuştur. Gece zaman aralığında, nüfusun %1.3'ü 55 dBA ve daha yüksek gürültü seviyelerine maruz kalmıştır. Şekil 4.7, gece zaman aralığında gürültüden etkilenen nüfusun mekansal modelini gösterir. Gürültüden etkilenen nüfusun büyük bölümü, havalimanının kuzey yolu boyunca çıkmıştır. 65 dBA eşik için etkilenen bölge gece zaman diliminde hesaplandığında nispeten çok küçük çıktığı için nüfus hesaplama ihmal edilmiştir.

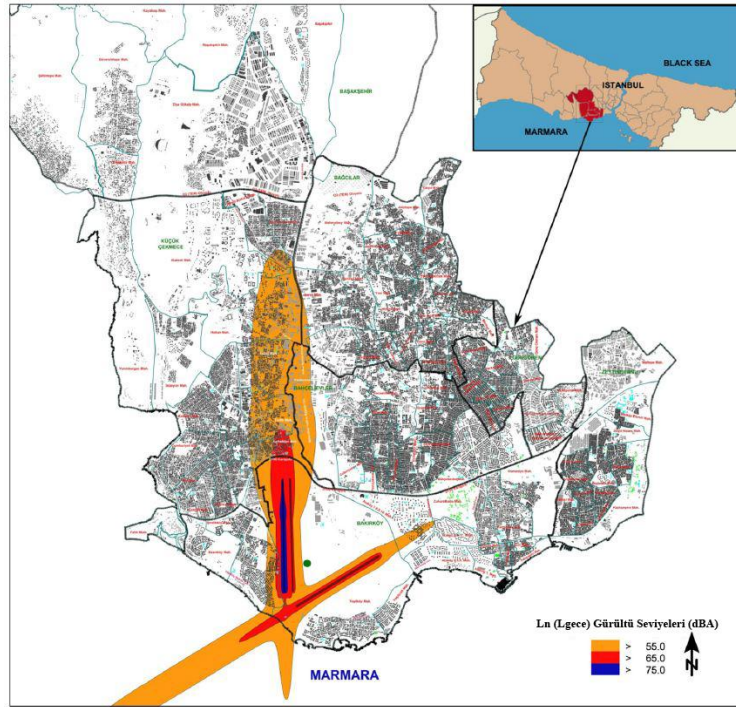
Yılmaz (1979)'ın yaptığı çalışma sonucu getirdiği öneri ile; yapılacak yeni yerleşimler için NEF 30 konturundan itibaren:

- İlk bina sırası (yaklaşık 60m'lik şerit) 2 kat
- İkinci bina sırası (yaklaşık 75m'lik bir şerit) 3 kat
- Üçüncü bina sırası (yaklaşık 65m'lik bir şerit) 4 kat olarak saptanmasına rağmen, Özkurt ve diğ. (2013) yaptığı çalışma bu önerilere uyulmadığını açıkça gözler önüne sermiştir. Mevcut durumda, Özkurt ve diğ. (2013), elde ettiği sonuçlar doğrultusunda getirdiği öneri ise; tüm pistler gürültü seviyesi havalimanı çevresindeki alanı çok etkilediği için, pistlerin konumu ve havalimanı tesislerinin modifikasyonuna bağlı pist kullanım programları, yaklaşım ve kalkış prosedürleri değişikliği gürültü azaltım

seviyeleri için iyi bir çözüm olamayacağıdır. İstanbul Atatürk Havalimanı için alınabilecek önlemin havalimanı kullanım ve düzenlemeleri için kısıtlama yolu olduğunu söylemişlerdir.



Şekil 4.6 : Günlük gürültüden etkilenen nüfusun gürültü konturları (Özkurt ve diğ., 2013)



Şekil 4.7 : Gece gürültüsünden etkilenen nüfusun gürültü konturları (Özkurt ve diğ., 2013)

#### 4.1.2 Antalya Havalimanı, Antalya

Antalya Havalimanı, şehir merkezinin 10km doğusunda konumlanmıştır ve hava trafiği verileri bakımından Türkiye'nin ikinci en büyük havalimanı olma özelliğindedir (URL,5). Havalimanı bünyesinde, 3400m uzunluğunda 18L/36R ve 18C/36C olarak adlandırılan iki pist ve 2990m uzunluğunda 18R/36L olarak adlandırılan bir pist ile toplamda üç pist bulunmaktadır.

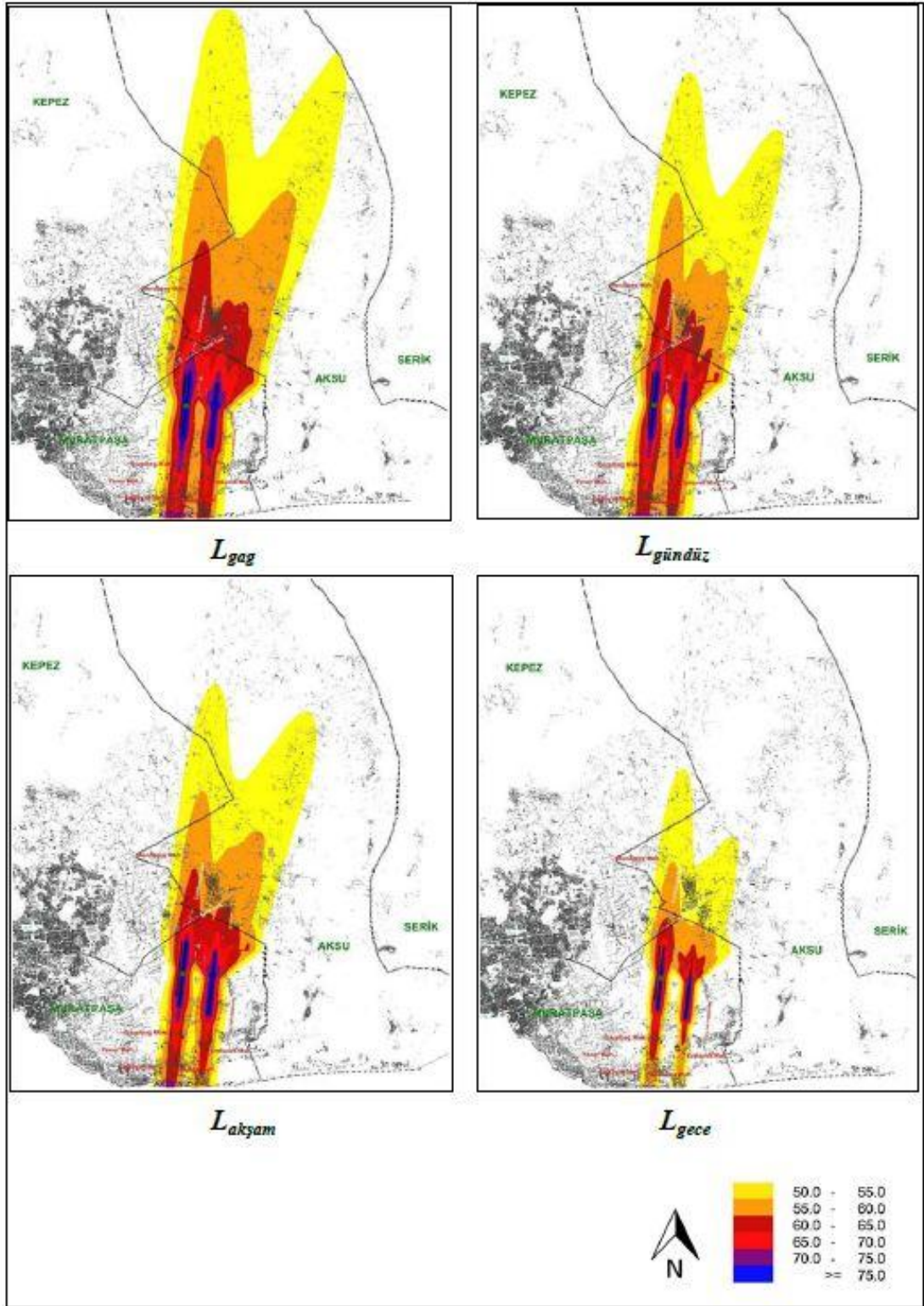
Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'nde (ÇGDYY) "Kara yolu, demir yolu ve hava trafiği ile endüstriyel tesisler, eğlence yeri ve benzeri gibi kaynakların bulunduğu alanda, bu kaynakların her birinden ayrı ayrı yayılan çevresel gürültü seviyesinin zeminden 4 m yükseklikte dB olarak hesaplanmış L<sub>gag</sub> (55-59, 60-64, 65-69, 70-74, >75) değer aralıklarının her birine maruz kalan tahmini sakin sayılarının (bu sayıların en yakın yüz rakamına yuvarlanmış) olması zorunludur" denilmektedir. Sarı ve diğ.(2013), çalışmayı yaparken Antalya Havalimanı gürültü konturlarını belirlemeyi ve gürültüden etkilenen nüfusu tespit etmeyi hedeflemişlerdir.

Çalışma kapsamında, SoundPlan yazılım programı kullanılarak gürültü konturları oluşturulmuş ve gürültüden etkilenen nüfus oranları elde edilmiştir. Öncelikli olarak simülasyon programına girilecek veriler elde edilmiştir. Bunun için Antalya Havalimanı'nın bölgeye ait en güncel haritaları olan 2008 yılı verilerinden yararlanılmıştır. Pist referans noktası olarak 36° 54' 01" Kuzey ve 30° 47' 34" Doğu koordinatlı nokta alınmıştır. Antalya Havalimanı'nda iniş ve kalkış yapan uçak türleri ve azami kalkış ağırlıklarına göre AzB standardına göre sınıflandırma yapıldıktan sonra, alınan tüm SID ve STAR verileri sayısallaştırılarak modele girilmiştir.

Gerçekleştirilen modelleme çalışmaları sonucunda, tüm gün boyunca Antalya Havalimanı çevresinde yaklaşık 76km<sup>2</sup>lik bir alanın 55 dBA'dan fazla gürültüye maruz kaldığı belirlenmiştir. Antalya Havalimanı için elde edilen gürültü kontur haritası Şekil 4.8'de verilmektedir. Elde edilen konturlar 5dB aralıklarla çizilmiştir (Sarı ve diğ, 2013). Gürültü haritası incelendiğinde gürültünün havalimanının kuzeyinde güneye oranla daha büyük bir alana yayıldığı gözlemlenebilir. Bunun sebebinin uçuş rotasından kaynaklandığını söyleyebiliriz. Sarı ve diğ, (2013), yaptığı diğer bir çalışma da günün farklı dilimlerine göre yapılan maruziyet çalışmaları

sonucu gürültüden etkilenen nüfus analizidir ki bunun sonuçlarını Çizelge 4.7’de görebilmekteyiz. Bir günlük (24 saatlik-Lgag) zaman dilimi incelendiğinde, 75 dB(A) üzerindeki gürültü değerleri dikkate alınarak etkilenme analizi yapıldığında, yaklaşık 2 km<sup>2</sup>’lik alanda etkilenen konut ve konut sakinin olmadığı tespit edilmiştir. 70-74 dB(A) gürültü değer aralığına yönelik etkilenme analizi yapıldığında, yaklaşık 3 km<sup>2</sup>’lik alan ve toplam şehir nüfusunun çok küçük bir kısmının maruz kaldığı belirlenmiştir. 65-69 dB(A) gürültü düzey aralığında ise, yaklaşık 9 km<sup>2</sup>’lik alan ve toplam şehir nüfusunun %1’inin maruz kaldığı hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda 60-64 dB(A) gürültü değer aralığına yönelik etkilenme analizi yapıldığında, yaklaşık 19 km<sup>2</sup>’lik alan ve toplam şehir nüfusunun %2’sinin maruz kaldığı saptanmıştır. 55-59 dB(A) gürültü değer aralığı için etkilenme analizi yapıldığında, yaklaşık 42 km<sup>2</sup>’lik alan ve toplam şehir nüfusunun yaklaşık %2’sinin maruz kaldığı ortaya çıkarılmıştır. 50-54 dB(A) gürültü değer aralığında ise, yaklaşık 72 km<sup>2</sup>’lik alan ve toplam şehir nüfusunun yaklaşık %2’sinin maruz kaldığı hesaplanmıştır. Hesaplama sonuçlarından gece saatlerine ait zaman dilimi incelendiğinde, 60-64 dB(A) aralığındaki gürültü değerleri dikkate alınarak etkilenme analizi yapıldığında, bu gürültü düzeylerine yaklaşık 4 km<sup>2</sup>’lik alan ve tüm gün boyunca etkilenen nüfusun %3 kadar konut sakininin maruz kaldığı tespit edilmiştir. 55-59 dB(A) aralığındaki gürültü değerleri dikkate alınarak etkilenme analizi yapıldığında, yaklaşık 11 km<sup>2</sup>’lik alan ve tüm gün boyunca etkilenen nüfusa göre %50 daha az konut sakininin maruz kaldığı tespit edilmiştir. 50-54 dB(A) gürültü düzey aralığında ise, yaklaşık 26 km<sup>2</sup>’lik alan ve tüm gün boyunca etkilenen nüfustan daha fazla konut sakininin maruz kaldığı hesaplanmıştır.





Şekil 4.8 : Antalya Havalimanı 5 dBA aralıklı konturlarla hazırlanmış gürültü haritaları (Sarı ve diğ., 2013)

**Çizelge 4.7 : Antalya Havalimanı etkilenme analizi hesaplama sonuçları (Sarı ve diğ., 2013)**

	<b>Gürültü düzeyi (dBA)</b>	<b>Alan (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Konut</b>	<b>Konut Sakini</b>	<b>Okul</b>	<b>Hastane</b>
<b>L<sub>den</sub></b>	50-54	71,954	5400	21000	31	2
	55-59	42,711	6600	27000	17	5
	60-64	19,704	7200	26300	10	1
	65-69	8,469	1700	9400	1	1
	70-74	2,858	50	100	0	0
	>75	2,048	0	0	0	0
<b>L<sub>gündüz</sub></b>	50-54	51,817	5100	20300	18	2
	55-59	27,001	6900	28100	18	2
	60-64	14,517	5500	24600	3	3
	65-69	4,795	600	1600	1	0
	70-74	1,649	0	0	0	0
	>75	1,383	0	0	0	0
<b>L<sub>akşam</sub></b>	50-54	48,897	6000	24400	17	3
	55-59	24,799	7900	28800	20	3
	60-64	10,925	2800	14600	1	1
	65-69	3,906	200	400	0	0
	70-74	1,374	0	0	0	0
	>75	1,176	0	0	0	0

**Çizelge 4.7 (Devam) : Antalya Havalimanı etkilenme analizi hesaplama sonuçları (Sarı ve diğ., 2013)**

	<b>Gürültü düzeyi (dBA)</b>	<b>Alan (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Konut</b>	<b>Konut Sakini</b>	<b>Okul</b>	<b>Hastane</b>
<b>L<sub>gece</sub></b>	50-54	25,821	7700	27600	17	2
	55-59	10,949	2300	12400	1	1
	60-64	4,158	300	900	0	0
	65-69	1,562	0	0	0	0
	70-74	0,711	0	0	0	0
	>75	0,458	0	0	0	0

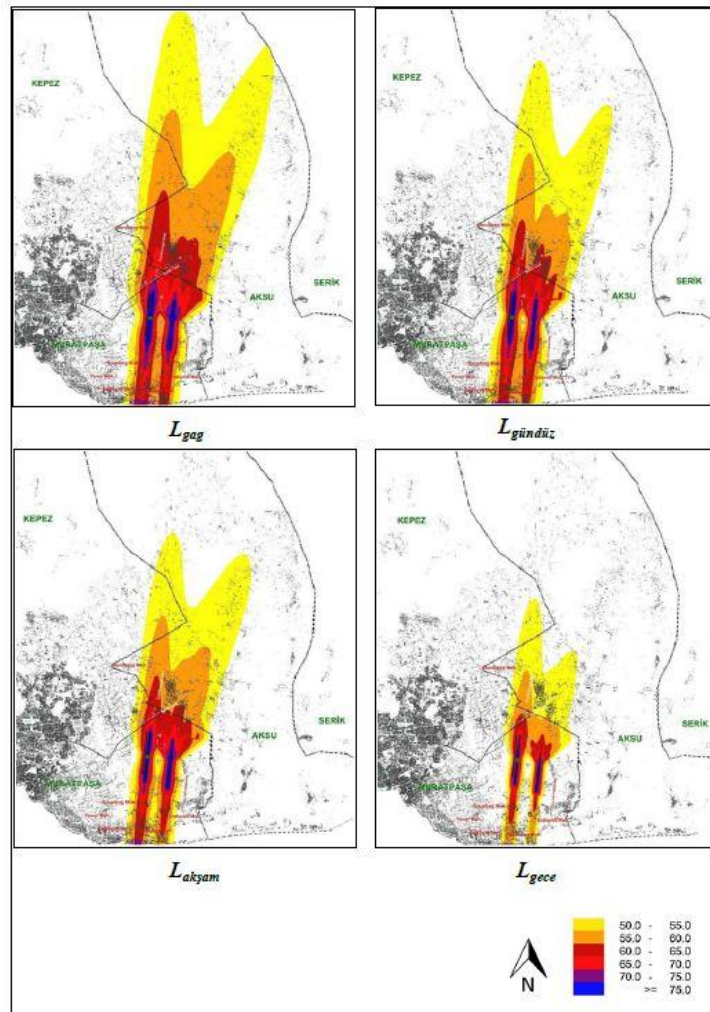
#### **4.1.3 Ferit Melen Havalimanı, Van**

Ferit Melen Havalimanı, Van il sınırları içinde bulunmakla birlikte Türkiye'nin en doğusundaki havalimanıdır. 03/21 olarak adlandırılan havalimanının tek pisti 9022m uzunluğundadır (URL,6).

Tıpkı Antalya Havalimanı'nda olduğu gibi Ferit Melen Havalimanı için de Sarı ve diğ (2013), çalışma kapsamında havalimanının gürültü konturlarını belirlemeyi ve gürültüden etkilenen nüfusu tespit etmeyi hedeflemişlerdir. Bu çalışma için de SoundPlan yazılım programı kullanılmıştır. Simülasyon programına girilecek verilerden harita verileri, 2012 yılına ait bölge haritasından elde edilmiştir. Pist referans noktası olarak, 38° 28' 07" Kuzey ve 043° 19' 51" Doğu koordinatlı nokta belirlenmiştir. Ferit Melen Havalimanı'nda iniş ve kalkış yapan uçak türleri ve azami kalkış ağırlıklarına göre AzB standardına göre sınıflandırma yapıldıktan sonra, alınan tüm SID ve STAR verileri sayısallaştırılarak modele girilmiştir.

Tüm veriler girilerek yapılan modelleme çalışmasının sonunda, tüm gün boyunca Ferit Melen Havalimanı çevresinde yaklaşık olarak 4km<sup>2</sup>lik bir alanın 55 dBA üzerinde gürültüye maruz kaldığı tespit edilmiştir ki Antalya Havalimanı ile kıyaslandığında bu oldukça düşük bir alandır. Ferit Melen Havalimanı gürültü kontur haritası Şekil 4.9'da 5 dB aralıklarla çizilen konturlarıyla sunulmuştur (Sarı ve diğ., 2013). Şekildeki haritaya bakıldığında gürültüden etkilenen nüfusun kuzey doğuda

yoğunlaştığını ama yine de çok büyük bir bölgeyi kapsamadığını görürüz. Bunun sebebinin havalimanı uçuş operasyonlarında iniş ve kalkışların daha çok göl üzerinden yapıldığı için olduğunu söyleyebiliriz. Sarı ve diğ (2013), gürültüden etkilenen nüfus oranları için yaptıkları çalışma sonucunda Çizelge 4.8’de bulunan verilere ulaşmışlardır. Van Ferit Melen Havalimanı çevresinde bir günlük (24 saatlik- $L_{gag}$ ) zaman dilimi incelendiğinde, 55-59 dB(A) aralığında gürültü değerleri dikkate alınarak etkilenme analizi yapıldığında, bu gürültü düzeylerine maruz kalan 200 konut ve 2000 konut sakini olduğu tespit edilmiştir. 50-54 dB(A) gürültü düzey aralığında ise yaklaşık 7 km<sup>2</sup>’lik alan ve toplam şehir nüfusunun %3’ünün havalimanından etkilendiği ortaya çıkarılmıştır. Modelleme çıktılarının gece saatlerine ait zaman dilimi incelendiğinde, 50-54 dB(A) gürültü düzey aralığında, 100 konut ve 500 konut sakini olduğu hesaplanırken, 55-59 dB(A) gürültü düzey aralığında ise, 50’den az konut ve 200 konut sakininin yaşadığı belirlenmiştir.



**Şekil 4.9 :** Ferit Melen Havalimanı 5 dBA aralıklı konturlarla hazırlanmış gürültü haritaları (Sarı ve diğ., 2013)

**Çizelge 4.8 :** Ferit Melen Havalimanı etkilenme analizi hesaplama sonuçları (Sarı ve diğ., 2013).

	<b>Gürültü düzeyi (dBA)</b>	<b>Alan (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Konut</b>	<b>Konut Sakini</b>	<b>Okul</b>	<b>Hastane</b>
<b>L<sub>den</sub></b>	50-54	7,208	1200	9400	9	1
	55-59	2,479	200	2000	1	0
	60-64	0,834	100	400	0	0
	65-69	0,34	0(*)	200	0	0
	70-74	0,284	0	0	0	0
	>75	0	0	0	0	0
<b>L<sub>gündüz</sub></b>	50-54	7,353	1100	8700	9	1
	55-59	2,579	300	2100	1	0
	60-64	0,876	100	400	0	0
	65-69	0,356	0(*)	200	0	0
	70-74	0,304	0	0	0	0
	>75	0,012	0	0	0	0
<b>L<sub>akşam</sub></b>	50-54	0,501	0(*)	300	0	0
	55-59	0,291	0(*)	100	0	0
	60-64	0,165	0	0	0	0
	65-69	0	0	0	0	0
	70-74	0	0	0	0	0
	>75	0	0	0	0	0

**Çizelge 4.8 (Devam) :** Ferit Melen Havalimanı etkilenme analizi hesaplama sonuçları (Sarı ve diğ., 2013)

	<b>Gürültü düzeyi (dBA)</b>	<b>Alan (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Konut</b>	<b>Konut Sakini</b>	<b>Okul</b>	<b>Hastane</b>
<b>L<sub>gece</sub></b>	50-54	1,091	100	500	0	0
	55-59	0,414	0(*)	200	0	0
	60-64	0,315	0	0	0	0
	65-69	0	0	0	0	0
	70-74	0	0	0	0	0
	>75	0	0	0	0	0

(\*)Konut sayısı belli aralıklardaki gürültü düzeylerine maruz kalan tahmini konut ve konut sakini sayılarının yüzlü ifadelerle belirtilmesi amacıyla 50'den az olan konutlar için tablolarda sayı 0 olarak verilmiştir. Etki alanında 50'den az sayıda konut olmasına karşılık söz konusu konutlarda gürültüye maruz kalankonut sakini olabilmektedir.

#### **4.2 Havalimanı Gürültü Haritalama İle İlgili Avrupa'da Yapılan Örnek Çalışmalar**

Son zamanlarda gelişen teknoloji ile birlikte, uçakların bireysel gürültüsünde önemli azaltışlar olduğu halde operasyon sayılarının gün geçtikçe artması pek çok Avrupa ülkesinde havaalanlarına bağlı gürültü sorunlarını beraberinde getirmektedir. Özellikle büyük ve önemli bir yere sahip olan havaalanlarında, uçuş operasyonlarının devam edebilmesi için gürültüye karşı önlemler alınması zorunlu hale gelmiştir. Ancak, gürültü ile ilgili alınacak önlemler bir bütün olarak ele alınmak durumunda olduğu için bu durum havalimanı kapasitesini sınırlamakla kalmayıp havacılık sistemine de kısıtlamalar getirmektedir. Bu bağlamda, Avrupa Birliği gürültü kısıtlamaları ile ilgili olarak Yönerge 2002/30/EC'yi benimsemiştir. Bu yönerge, Uluslar arası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) tarafından da kabul edilmiştir. Yönerge 2002/30/EC dört temel yaklaşımı ele alır: sürdürülebilir biçimde havalimanı

çevresinin düzenlenmesi, uçak bireysel gürültüsünün kontrolü, yerdeki gürültü seviyesini azaltmak için operasyon sayılarının düzenlenmesi ve gerektiği takdirde işletim kısıtlamalarının uygulanması.

Çalışma çerçevesinde Avrupa içerisinde incelenen gürültü kontrolü yapılmış havaalanları; Catania-Fontanarossa Havalimanı, Göteborg Landvetter Havalimanı, Lizbon Havalimanı ve Heathrow Havalimanıdır.

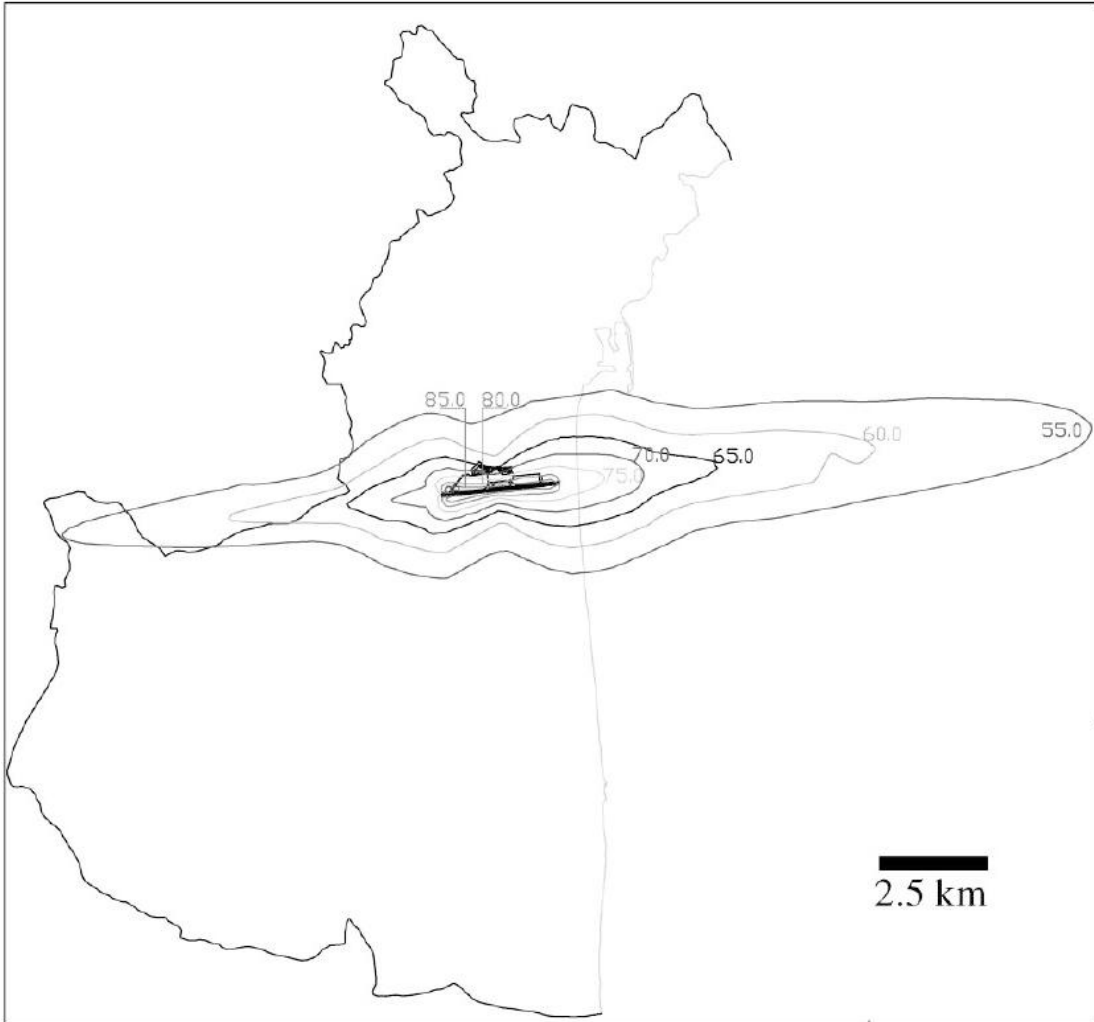
#### **4.2.1 Catania-Fontanarossa Havalimanı, İtalya**

Catania-Fontanarossa Havalimanı, İtalya'nın dördüncü büyük havalimanıdır ve Sicilya'da bulunan iki önemli havalimanından biri olma özelliğini gösterir. Havalimanı bünyesinde 2500m uzunluğunda oldukça kısa bir pist vardır ve haliyle bu pist geniş gövdeli uçakların kalkış ve inişi için çok da elverişli değildir. 1999 yılı verilerine göre havalimanında yıl boyunca yaklaşık olarak 3 milyon yolcu taşındığı kaydedilmiştir ve yolcu taşınmasında en çok faaliyet gösteren uçakların 2 ve 3 aşamalı (DC9, MD80, ATR42, Airbus 300) uçaklar olduğu belirtilmiştir. Havaalanlarında asıl gürültüyü uçakların kalkış anında ürettiği bu konuda çalışan çevreler tarafından bilinmektedir. Bu bağlamda, Catania-Fontanarossa Havalimanı için uçağın kalkış sonrası 1500 feet'e kadar 15-18 derecelik sabit açısını korumak zorunda olduğu söylenmiştir. Ancak sonrasında uçak 3000 feet'e sabit hızda çıkarken gücü azalır ve bunun bir gerekliliği olarak tırmanma açısı 8-10 dereceye düşürülür. Havalimanı bünyesindeki Charter uçuşların yaz sezonu toplam uçuş operasyon sayısının %50'sini temsil ettiği tespit edilmiştir. Şekil 4.10'da Catania-Fontanarossa Havalimanı'nın  $L_{dn}$  konturları gösterilmiştir (Ignaccolo, 2000).

Ignaccolo (2000)'nun bu çalışmayı yaparken öncelikli olarak benimsediği amaç çerçevesinde, Catania-Fontanarossa Havalimanı'nda meydana gelmesi olası değişiklikler ile uçuş faaliyetleri ve gürültü kirliliği açısından değişimlerin çevre ile uyumluluğunu kontrol etmiştir. Bunu yaparken de dört önemli faktör üzerinde incelemeler yapmıştır: gürültü kirliliği dBA, uçak tipi, operasyon sayısı ve gürültü kirliliğinden etkilenen yüzeyler. Ignaccolo (2000), bu faktörler açısından bir metodoloji oluşturmuş. Faktörlerden birinde değişiklik olduğu takdirde diğerlerinde oluşan değişimleri gözlemlemiştir. Böylelikle, oluşturduğu prosedür, Catania-Fontanarossa Havalimanı yönetimine genel kuralların hazırlanmasında ve operasyon sayıları ile iniş/kalkış tarifelerinin hesaplanmasında yol gösterici bir rol oynamıştır.

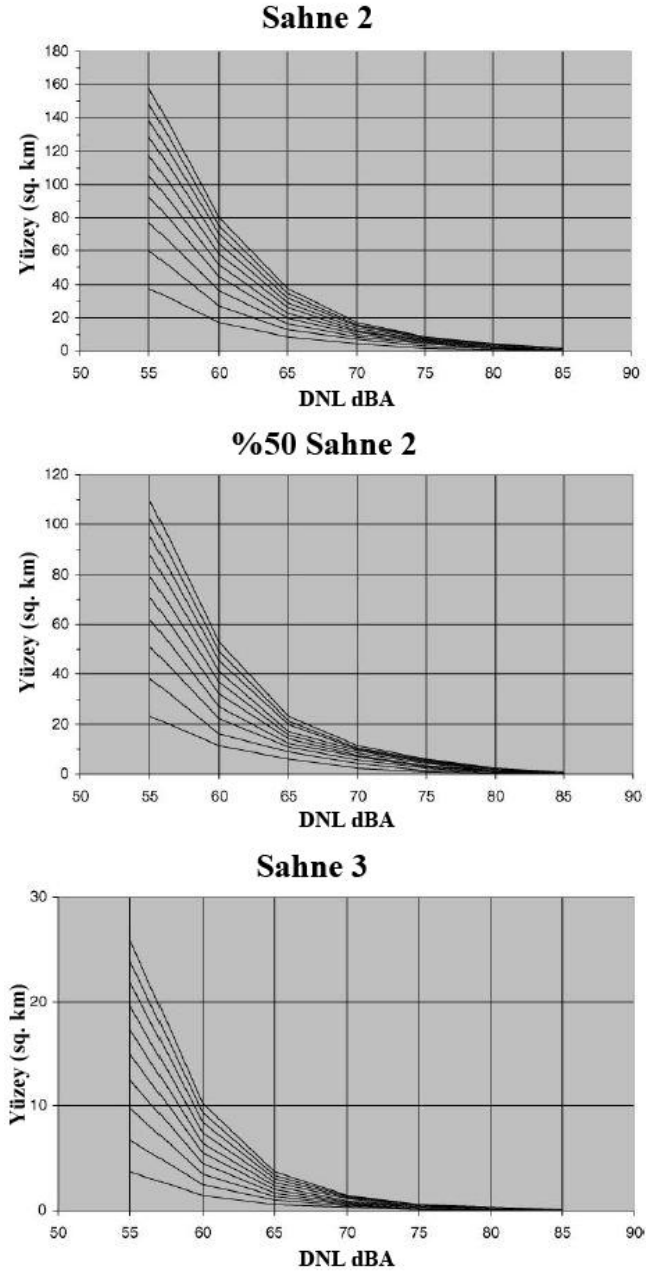
Çalışma kapsamında, ABD Federal Havacılık İdaresi için oluşturulan INM yazılımı kullanılmıştır. Bu program ile sese maruz kalma düzeyi (SEL) ve maksimum gürültü düzeyi (LAmax) cinsinden gürültü haritaları oluşturularak Havalimanı sahası içerisindeki gürültü kirliliği seviyesi hesaplanmıştır. Ölçüm sürecinde standart koşullar varsayılmıştır yani sıcaklık 25 C°; rüzgar ihmal; pist uzunluğu 2,5 km; iniş/kalkış sayıları aynı; günlük operasyon sayısı 40-400 arasında; gece uçuşu yok.

Ölçüm sonucunda elde edilmiş olan 50 eğrinin bir kısmı Şekil 4.11’de gösterilmiştir. Hazırlanan farklı çalışmaların birinde Ldn ve uçuş operasyon sayıları sabit tutulurken uçak yüzdesinin artması halinde eğrilerin 55 ve 70 dBA arasında olduğu gözlemlenmiştir.



**Şekil 4.10** : Catania-Fontanarossa Havalimanı Lden konturları (Ignaccolo, 2000)





**Şekil 4.11** : Operasyon ve kompozisyon sayısının gürültü çizelgeleri fonksiyonunun yüzey seviyesi (Ignaccolo, 2000)

Ignaccolo (2000), yüzey ve gürültü arasındaki ilişki için aşağıdaki denklemi kullanmıştır.

$$\log_{10}(\text{yüzey}) = a\text{dB}(A) + b \quad (3.1)$$

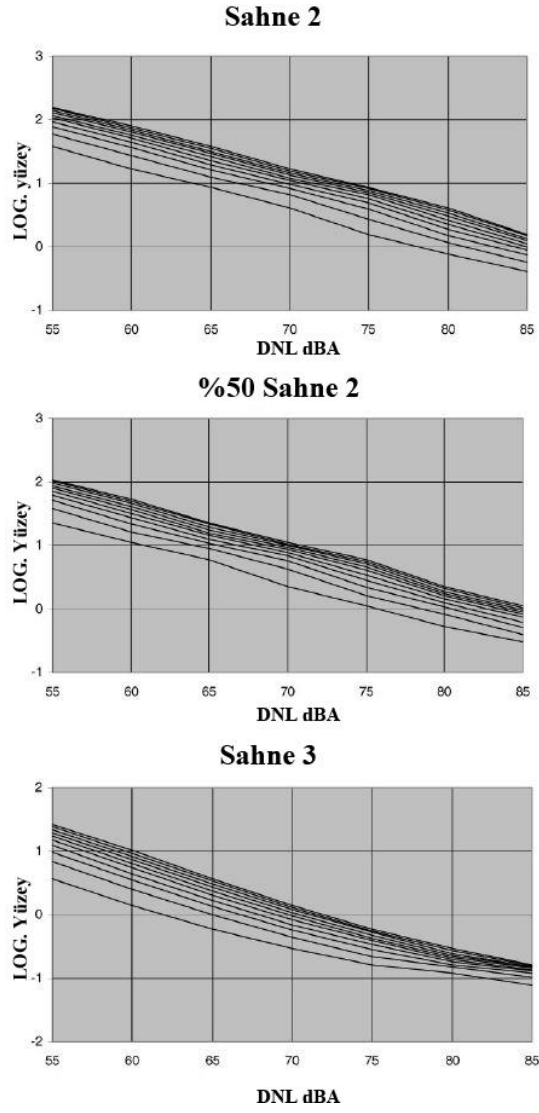
Bu denklemde; a bir sabit ve değeri 0.67, b günlük operasyon sayısı alınmış ve b'nin varyasyonları Çizelge 4.9'da gösterilmiştir.

**Çizelge 4.9 : b varyasyonları (Ignaccolo, 2000).**

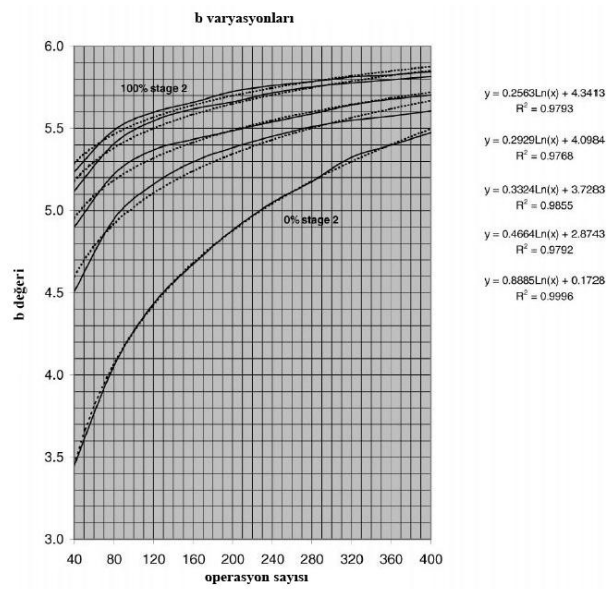
Operasyon Sayıları	Kapasite				
	Sahne 2: %100 z1b	Sahne 2: %75 b	Sahne 2: %50 b	Sahne 2: %25 b	Sahne 2: %0 b
40	5,2379	5,1191	4,9002	4,5088	3,4518
80	5,4893	5,4075	5,2225	4,9498	4,0562
120	5,5977	5,5458	5,3704	5,1602	4,4340
160	5,6593	5,6177	5,4341	5,2970	4,6750
200	5,7252	5,6613	5,4866	5,3840	4,8814
240	5,7602	5,7164	5,5404	5,4521	5,0509
280	5,7854	5,7540	5,5881	5,5094	5,1769
320	5,8132	5,7772	5,6417	5,5505	5,3251
360	5,8246	5,7967	5,6788	5,5745	5,3973
400	5,8457	5,8154	5,7037	5,6067	5,4746

Bu noktaların grafiğe konulması ile de Şekil 4.12'de gösterilen logaritmik gerileme eğrileri ile birlikte bir eğilim ortaya koyar.

Çalışma sonunda, gürültü kirliliğinde etkilenen yüzeyleri, Ldn dBA, günlük operasyon sayıları ve kompozisyon sonuçlarını içeren abaküsler elde edilmiştir. Bu abaküslerden 55 ve 75 dBA için elde edilmiş olanları Şekil 4.13 ve 4.14'te gösterilmiştir. Catania-Fontanarossa Havalimanı'nda Charter uçuşlar dışında gürültüden etkilenen yüzeyler Şekil 4.15'te gözlemlenebilirken, INM programı sonuçları ile abaküs kullanılarak elde edilen sonuçlar arasındaki fark Çizelge 4.10'da verilmiştir (Ignaccolo, 2000). Tabloya bakıldığında iki sonuç arasındaki farkın ihmal edilecek kadar az olduğu görülmektedir.

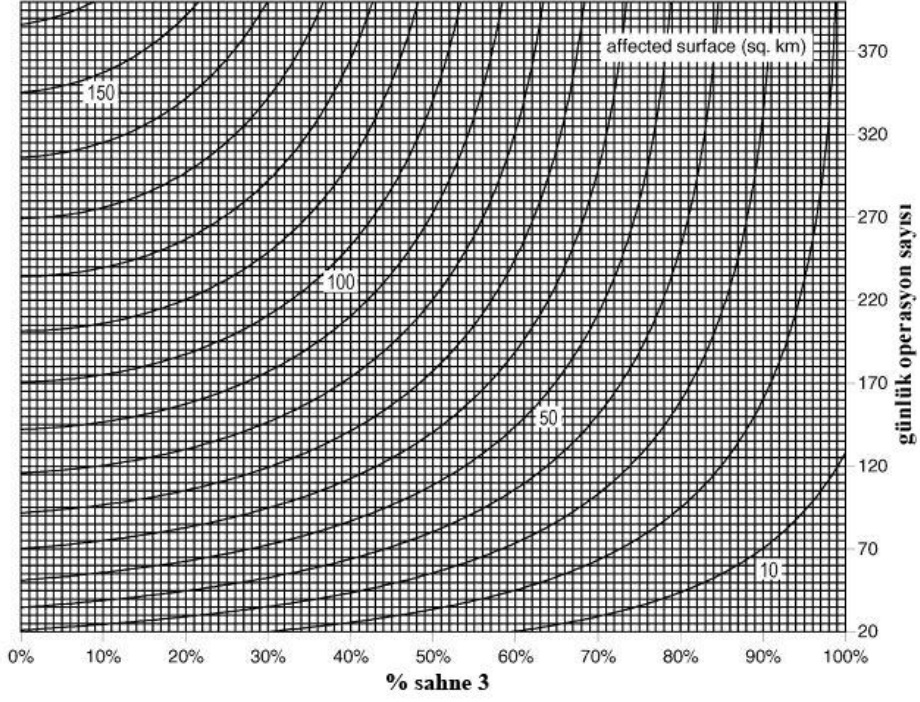


Şekil 4.12 : Şekil 4.11'deki grafiklerin çift logaritmik gösterimi (Ignaccolo, 2000)



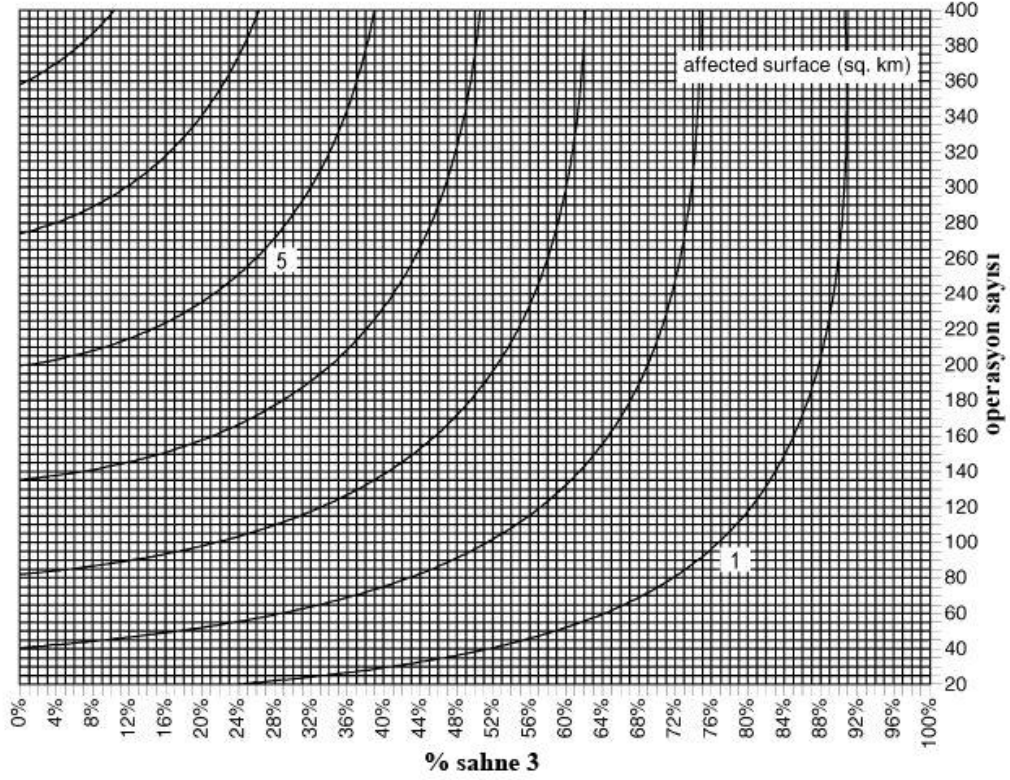
Şekil 4.13 : Logaritmik gerileme eğrileri ile  $b$  varyasyonları (Ignaccolo, 2000)

55 dBA gürültü abaküsü



Şekil 4.14 : 55 dBA gürültü abaküsü (Ignaccolo, 2000)

75 dBA gürültü abaküsü



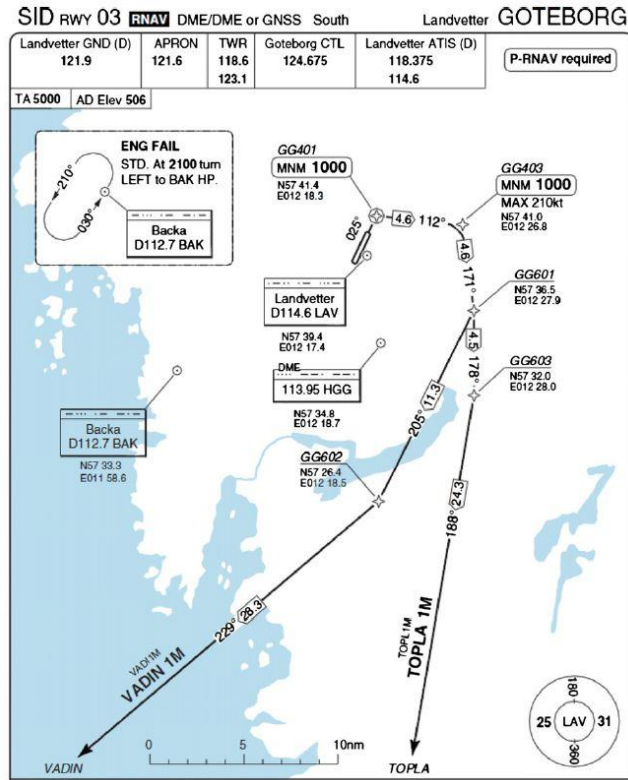
Şekil 4.15 : 75 dBA gürültü abaküsü (Ignaccolo, 2000)

**Çizelge 4.10 : INM ve abaküs yöntemiyle hesaplanan değerler arasındaki farklar (Ignaccolo, 2000).**

	Abaküs	INM		Abaküs	INM		Abaküs	INM
Yüzey (sq.km)	45,63	51.05	Yüzey (sq.km)	20.84	22.67	Yüzey (sq.km)	9.51	10.07
% sahne 3	%68		% sahne 3	%68		% sahne 3	%68	
Operasyon yok	80		Operasyon yok	80		Operasyon yok	80	
dBa	55		dBa	60		dBa	65	
İrtifa	0	%0.00	İrtifa	0	%0.00	İrtifa	0	%0.00
Rüzgar	13	%-3.90	Rüzgar	13	%-3.90	Rüzgar	13	%-3.90
Kullanım	%80.0	%0.00	Kullanım	%80.0	%0.00	Kullanım	%80.0	%0.00
Gece uçuşları	%12.5	%62.50	Gece uçuşları	%12.5	%62.50	Gece uçuşları	%12.5	%62.50
Sıcaklık (°C)	12.3	%17.78	Sıcaklık (°C)	12.3	%17.78	Sıcaklık (°C)	12.3	%17.78
Yüzey (sq.km)	4.34	4.90	Yüzey (sq.km)	1.98	2.21	Yüzey (sq.km)	0.91	0.97
% sahne 3	%68		% sahne 3	%68		% sahne 3	%68	
Operasyon yok	80		Operasyon yok	80		Operasyon yok	80	
dBa	70		dBa	75		dBa	80	
İrtifa	0	%0.00	İrtifa	0	%0.00	İrtifa	0	%0.00
Rüzgar	13	%-3.90	Rüzgar	13	%-3.90	Rüzgar	13	%-3.90
Kullanım	%80.0	%0.00	Kullanım	%80.0	%0.00	Kullanım	%80.0	%0.00
Gece uçuşları	%12.5	%62.50	Gece uçuşları	%12.5	%62.50	Gece uçuşları	%12.5	%62.50
Sıcaklık (°C)	12.3	%17.78	Sıcaklık (°C)	12.3	%17.78	Sıcaklık (°C)	12.3	%17.78

#### 4.2.2 Göteborg Landvetter Havalimanı, İsveç

Göteborg Landvetter Havalimanı, İsveç'in ikinci büyük havalimanıdır ve Göteborg şehir merkezinin 25km dışında konumlandırılmıştır. Havalimanı çevresinde gürültüye duyarlı yerleşim alanları mevcuttur. Havalimanı bünyesinde 03/21 olarak adlandırılan tek bir pist bulunmaktadır ve uzunluğu 3300m'dir. Havalimanından elde edilen verilen doğrultusunda günlük operasyon sayısının 200 civarı olduğu söylenmiştir. Şekil 4.16'da Pist 03'ün güney yönündeki SID'leri gösterilmiştir (Mitchell ve diğ., 2012). Şekilde gösterilen TOPLA 1M ve VADIN 1M, dönüş ile ilgili hız kısıtlamalarını gösterir. Örneğin, uçağa, ilk geçiş noktası olan GG403'ten geçene kadar hız kısıtlaması uygulanmaktadır ve bu mesafe yaklaşık olarak 10 deniz milidir.



Şekil 4.16 : ESGG'de Pist 03'ten yayımlanan güney RNAV SID (Mitchael ve diğ., 2012)

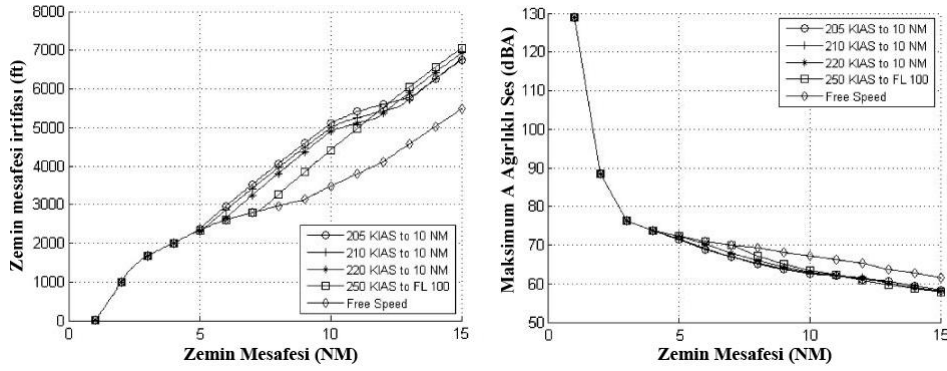
Mitchael ve diğ. (2012) tarafından yapılan çalışmada, öncelikli olarak süreç boyunca gerekecek veriler temin edilmiştir. Bunlardan uçak uçuş verileri İsveçli havayolu operatörü NOVAIR tarafından sağlanırken; kalkış verileri, meteorolojik koşullar, kalkış koşulları gibi veriler havalimanından temin edilmiş ve örnek uçuş olarak maksimum kalkış kütlesi üst sınırında olan Airbus 321 uçağı seçilmiştir.

Çalışma kapsamında gürültü konturlarını elde etmek için Airbus Performans Mühendis Programı (PEP) kullanılmıştır. Analizler sırasında seçilen metrik gürültü, İsveç'te kullanılan metrik gürültü yani maksimum anlık A ağırlıklı gürültü seviyesi (L<sub>Amax</sub>)'dir (Mitchael ve diğ, 2012). 1600 sn'de 3300 feet'e çıkan uçak için PEP modelleme programından ve FDR'den elde edilen iki grafik birbiri ile örtüşmektedir. Bu da programdan çıkartılacak sonuçların tutarlılık oranının yüksek olduğunu gösterir.

Göteborg Lanvetter Havalimanı gürültü kontrolü çalışmaları sırasında Mitchael ve diğ (2012), çalışmayı, oluşturdukları beş farklı senaryo üzerinde gerçekleştirmişlerdir. Oluşturulan senaryolar aşağıdaki gibidir:

- 10nM için 205 KIAS: 205 KIAS hız kısıtlaması 10nM zemin mesafesinde uygulanır. Uçağın 10nM'ye ulaşıncaya kadar kanatlar ve kaburgalar ile tırmanması gerekir.
- 10nM için 210 KIAS: 210 KIAS hız kısıtlaması 10nM zemin mesafesinde uygulanır (bugün için hız kısıtlaması TOPLA 1M SID uygulanmıştır). Uçağın yüksek kütlesi sebebiyle 10nM ulaşıncaya kadar genişletilmiş kanatlar ve kaburga ile tırmanması gerekir.
- 10nM için 220 KIAS: 220 KIAS hız kısıtlaması 10nM zemin mesafesinde uygulanır. 210 KIAS'ta uçak otomatik olarak kanatlarını geri çeker, ama 10nM'ye ulaşıncaya kadar genişletilmiş öncü kaburga ile tırmanması gerekir.
- FL100 için 250 KIAS: Uçak FL 100'e ulaşıncaya kadar standart 250 KIAS hız kısıtlaması uygulanır. Uçak, FL 100 üzerindeki optimum tırmanış hızına kadar hızlandırılır. Simülasyonda kullanılan uçak kütlesine bağlı olarak, kanatlar 210 KIAS'ta geri çekilirken kaburgalar biraz daha yüksek bir hız ile geri çekilir (bu durumda 220 KIAS'ta). Bu, Göteborg Havalimanı'nda hiçbir ek dönüş hız kısıtlaması olmadan, SID kullanılan standart kalkış prosedürüdür. 250 KIAS hız kısıtlaması, öncelikle uçak ayırma yöntemi için ATC tarafından kullanılır.
- Serbest hız: 'Serbest hız' olduğunda ATC tarafından verilen simülasyonlarda tırmanma fazı sırasında hiçbir hız kısıtlaması yoktur. Serbest hız, FL100'deki 250 KIAS hız kısıtlamasını ortadan kaldırır. Serbest hız, sessiz trafik döneminde ATC tarafından havalimanına verilir.

Şekil 4.17'de bulunan grafikler her bir senaryo için kalkış noktasından itibaren AGL uçak yüksekliğini ve A ağırlıklı gürültü seviyesini göstermiştir (Mitchael ve diğ., 2012). Grafikler incelendiğinde, ilk 5nM'de her bir senaryonun tırmanış profilinin aynı olduğu gözlemlenebilmektedir. Şekil 3.10'da bulunan ilk grafiğe bakıldığında, hız kısıtlama senaryoları yaklaşık 11nM mesafesinde iken FL 100'deki 250 KIAS profilinin, 10nM'deki 205, 210 ve 220 KIAS profillerini geçtiği görülmektedir. Bu da 11nM mesafede FL100'deki 250 KIAS senaryosunda uçağın en iyi tırmanış mesafesine ulaştığını ortaya koyar. İkinci grafikte ise, gürültü, 10nM için 205, 210, 220 KIAS ve FL100 için 250 KIAS hız sınırlama senaryolarında 10.5nM mesafeden sonra her dBA için benzerlik olduğunu gösterir.

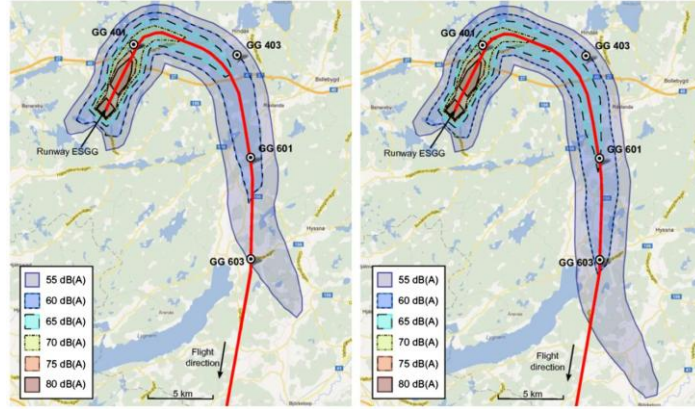


**Şekil 4.17 :** Zemin mesafesinin bir fonksiyonu olarak zemin seviyesinden yüksekliği gösteren hız kısıtlaması senaryoları için profiller ve zemin mesafesinin bir fonksiyonu olarak maksimum A ağırlıklı ses seviyesi (sağda) (Mitchael ve diğ., 2012)

Yapılan çalışmalar sonucu elde edilen grafiklerden 10nM için 210 KIAS senaryosu (solda) ve serbest hız senaryosuna (sağda) ait grafikler Şekil 4.18'de verilmiştir. Haritalarda, İsveç gürültü düzenlemelerindeki 'arka plan gürültü seviyesi' olarak kabul edilen gürültü seviyeleri doğrultusunda kontur seviyeleri 80, 75, 70, 65, 60 ve 55 dBA'da gösterilmiştir. Haritalarda görülen kırmızı hat, TOPLA 1M hız kısıtlama rotasını göstermektedir ve geçiş noktalarının konumu üzerine işaretlenmiştir. Mitchael ve diğ (2012), yalnızca iki senaryonun grafiğinin verilme nedeni olarak diğer üç senaryo ile 10nM'de 210 KIAS senaryosu konturlarının birbirine çok yakın olduğunu ve farklarının gözle görülemeyeceğini söylemişlerdir. Zaten Çizelge 4.11'de verilen elde edilen harita sonuçlarının sayısal verilere dökülmüş hali de bu görüşü destekler niteliktedir. Şekil 4.18 ve Çizelge 4.11 incelendiğinde, her beş senaryo için de 80 ve 75 dBA'da LAmaz gürültü konturlarının alanının aynı olduğu görülürken, 70 dBA için çok küçük farklılıklar olduğu söylenebilir. 65, 60 ve 55



dB(A)'da ise serbest hız senaryosunun gürültü kontur alanındaki bariz fark göze çarpmaktadır.

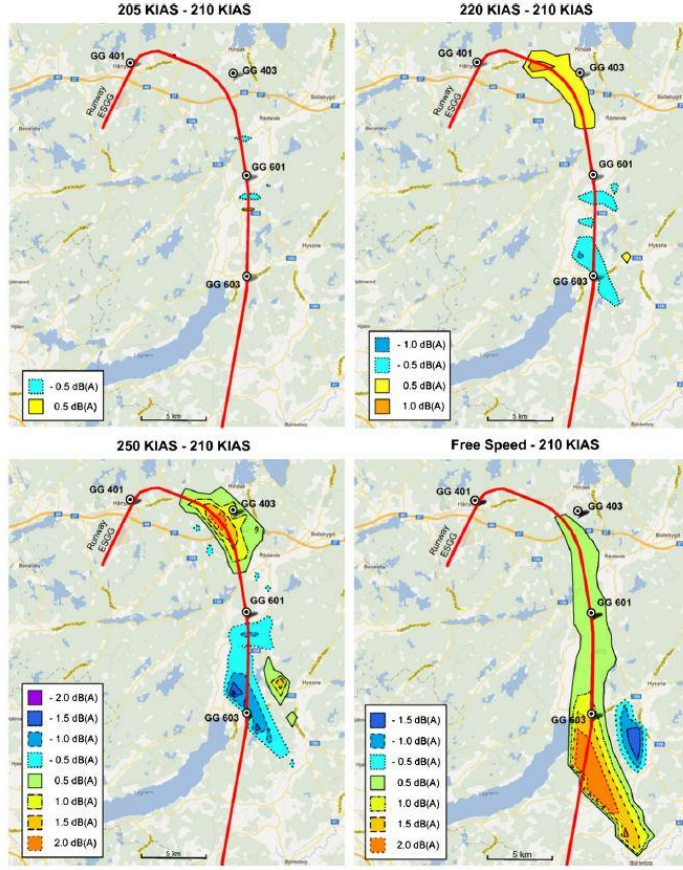


**Şekil 4.18** : 10 NM'de 210 KIAS (solda) ve serbest hız (sağda) senaryoları için  $L_{Amax}$  gürültü konturları ile TOPLA 1M. (Mitchael ve diğ., 2012)

Mitchael ve diğ. (2012), Şekil 4.19'da 10nM'de 210 KIAS hız kısıtlama senaryosu ile diğer senaryoların karşılaştırılması yapmıştır. Bu karşılaştırmalara göre, ikinci dönüş noktası olan GG403'de hız kısıtlaması azaldıkça gürültüdeki artış gözlenirken, GG601 ve GG603 arasındaki uçuş yolunda gürültüde azalma tespit edilmektedir. Micthael ve diğ (2012) bu azalma durumunu, farklı coğrafi konumlarda 6000 feet AGL'ye ulaşıktan sonra doğrudan yönlendirme için SID'den sapan uçaklar olarak açıklamışlardır.

**Çizelge 4.11** : Beş ileri kısıtlama senaryosu için  $L_{Amax}$  gürültü konturları tarafından belirlenen yüzey alanı tablosu(Mitchael ve diğ., 2012).

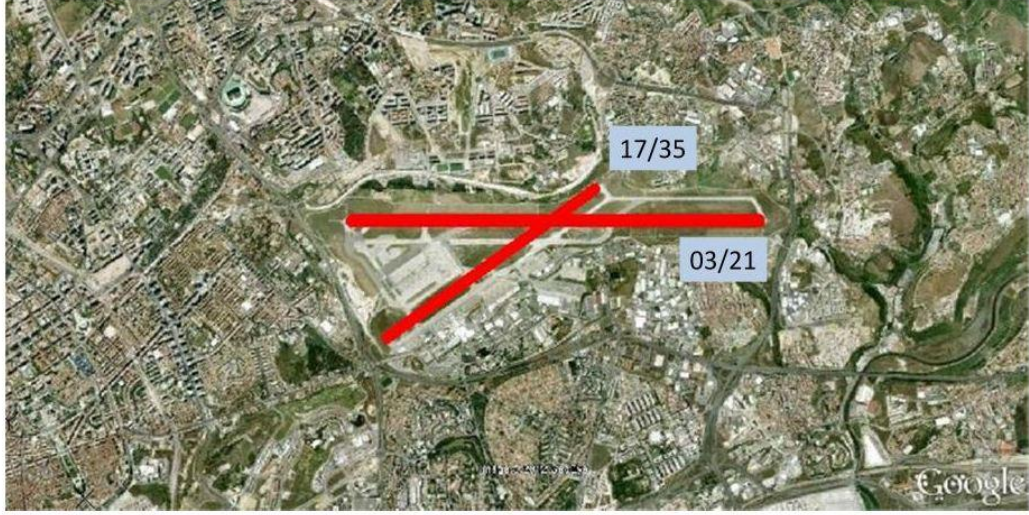
$L_{Amax}$ gürültü konturlarının yüzey alanı						
Hız kısıtlama senaryosu	80 dBA	75 dBA	70 dBA	65 dBA	60 dBA	50 dBA
10 NM'de 205 KIAS	1,44	7,09	14,86	31,90	74,93	155,33
10 NM'de 210 KIAS	1,44	7,09	14,99	32,04	75,01	154,76
10 NM'de 220 KIAS	1,44	7,09	15,36	34,16	74,27	152,25
FL100'de 250 KIAS	1,44	7,09	15,09	35,49	73,08	149,87
Serbest hız	1,44	7,09	15,09	42,47	93,31	184,11



Şekil 4.19 : 10 NM'de 210 KIAS hız senaryosu ile diğer hız kısıtlama senaryosu kontur farkları (Mitchael ve diğ., 2012)

#### 4.2.3 Lizbon Havalimanı, Portekiz

Lizbon Havalimanı, Portela de Sacavern şehir merkezinin 7km kuzey batısına konumlanmıştır. Konum itibariyle deniz seviyesinden yaklaşık olarak 114 metre yükseklikte olan havalimanında 3082 metre uzunluğunda 03/21 ve 2304 metre uzunluğunda 17/35 olmak üzere iki pist bulunmaktadır. Şekil 4.20'de havalimanının konumu ve pistleri görülmektedir. Şekilden de anlaşıldığı şehir içerisinde bulunan bir havalimanı olması sebebiyle, çevredeki nüfus için önemli bir gürültü kaynağı olma özelliğindedir. Bu da şehri, gürültü sorununu önlemek için geniş bir eylem planı üretmeye zorlamıştır. Bu eylem planlarından bazıları; gürültünün izlenmesi, işletim kısıtlamaları, motor testleri, yerel uçuşlarda kısıtlama ve tamamlayıcı kısıtlamalardır (Medrano, 2012).



**Şekil 4.20 :** Lizbon Havalimanı pist dağılımı (Medrano, 2012)

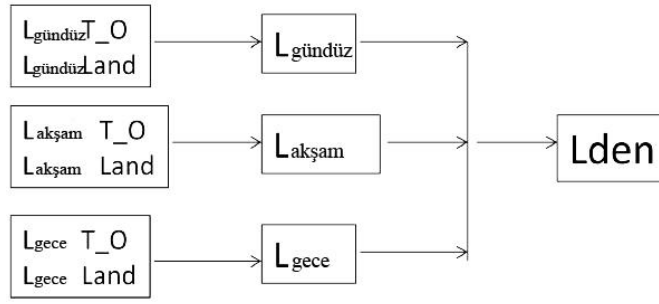
Gürültünün izlenmesi için, havalimanı çevresinde yedi farklı noktaya gürültüyü kontrol eden istasyonlar kurulmuş, havalimanı gürültü konturları oluşturulmuş ve dönemsel gürültü izleme raporları oluşturulmuştur. İşletim kısıtlamaları için ise, gece trafiği 00.00 ve 06.00 saatleri arasında kısıtlanmıştır. Ayrıca bir hafta içinde izin verilen uçuş sayısı 91'i geçmemekle birlikte her durumda günlük gece hareketlerinin maksimum sayısı:

$$PN \leq \frac{\text{Haftalık limit}}{\text{Bir hafta içerisindeki günler}}$$

Motor testleri için ise, test çalışmalarına yalnızca 06.00-22.00 saatleri arasında izin verilmekte ve sadece RWY 17 kullanılabilir. Eğitim gibi art arda gerçekleşen kalkış ve inişli yerel uçuşlara da sadece 08.00-22.00 saatleri arasında operasyon izni verilmektedir. Tüm bunlara ek olarak geliştirilen tamamlayıcı kısıtlamalar; rüzgar yönü ve şiddeti izin verdiği takdirde kuzey yönü kalkış operasyonları için pist 03 tercih edilir, 3 dereceden az olmamak kaydıyla bir açı ile yaklaşıma izin verilmektedir.

Lizbon Havalimanı gürültü ölçümleri için Catania-Fontanarossa Havalimanında olduğu gibi INM yazılımı kullanılmıştır. Farklı olarak Catania-Fontanarossa Havalimanı gürültü konturları 55-70 dBA arasında hesaplanırken, Lizbon Havalimanı gürültü konturları 45-80 dBA arasında her 5 dB'de bir çizilmiştir.

Konturlar hesaplanırken izlenen yöntem Şekil 4.21'de gösterilmiştir. Elde edilen değerlerin birleştirilmesi için de Matlab programı kullanılmıştır.



**Şekil 4.21 :** Kontur hesaplama süreci (Medrano, 2012)

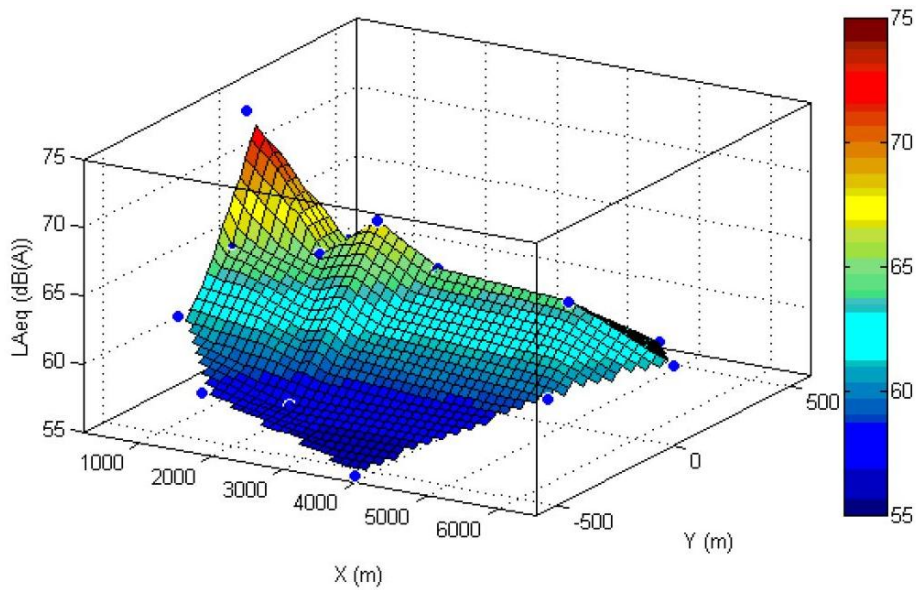
İlk aşama olarak,  $L_{gündüz}$  konturunu hesaplamak için uçuş yolu üzerindeki her noktada  $L_{gündüz}$ 'ün hesaplanması gerekmektedir. Bu değer tüm noktalarda hesaplandıktan sonra, doğrusal ara değerlendirme ile gürültü yüzeyi elde etmek için Matlab programına tanıtılmıştır.

Her bir nokta için hesaplanan  $L_{gündüz}$  değerleri aşağıdaki çizelgede verilmiştir:

**Çizelge 4.12 :** Kalkış ve iniş için  $L_{gündüz}$  değerleri (Medrano, 2012).

Nokta	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12	13
<b>İniş</b>	58.17	65.68	67.71	65.08	57.7	64.95	61.04	64.334	59.68	55.05	61.509	73.9
<b>Kalkış</b>	67.46	72.74	66.68	68.146	67.38	65.81	62.5	63.23			70.79	71.89

Hesaplanan değerler ile  $L_{gündüz}$  için Matlab programı tarafından üretilen yüzey Şekil 4.22'de gösterilmiştir.



**Şekil 4.22 :** Merkezi yaklaşım olmadan  $L_{gündüz}$  iniş (Medrano, 2012)

Eşikteki 2000m civarındaki bölge düşük seviye bölgesidir. Matlab programı yüzeyin merkez hattı etrafındaki dört nokta arasında bir interpolasyon yapmak için yeniden kullanılır. Bu noktalar aşağıdaki çizelgede verildiği gibidir:

**Çizelge 4.13 :**  $L_{gündüz}$  iniş için merkez noktası değerleri (Medrano, 2012).

Nokta	X (m)	Lday (dBA)
3	2400	67.71
7	3250	64.95
8	6537	61.04
9	5057	64.334
13	575	73.9

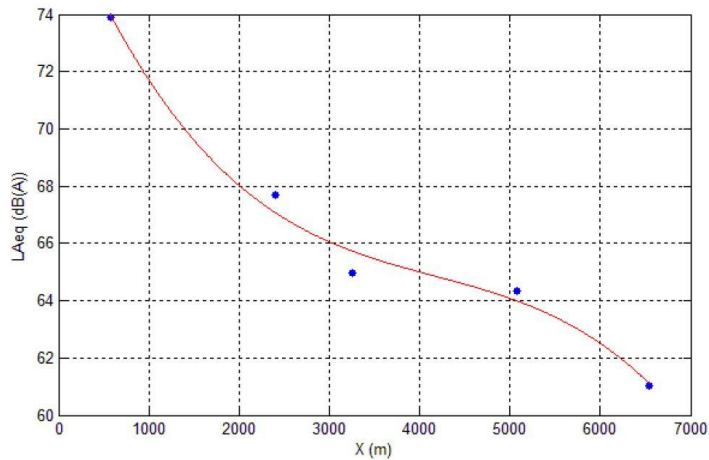
Şekil 4.23, merkez hattı dört ölçüm noktası hesaplanan pist ekseninin uzama eğrisidir. Matlab tarafından verilen yaklaşım şudur:

$$L_{gündüz} = 1.307 * 10^{-10} * x^3 + 1.636 * 10^{-6} * x^2 - 0.007671 * x + 77.88 \quad (3.2)$$

$L_{gündüz}$ : Gündüz süresince, saatlik eşdeğer gürültü seviyesi (07.00-22.00)

x: eşik mesafesi

Bu denklem, düzensiz bölge etrafında (eşiğin 2000 m etrafında) ve eşiğe yakın bazı noktalarda daha fazla sonuç elde etmek için kullanılır. Yeni noktalar ise aşağıdaki Çizelge 4.14'te verilmiştir:



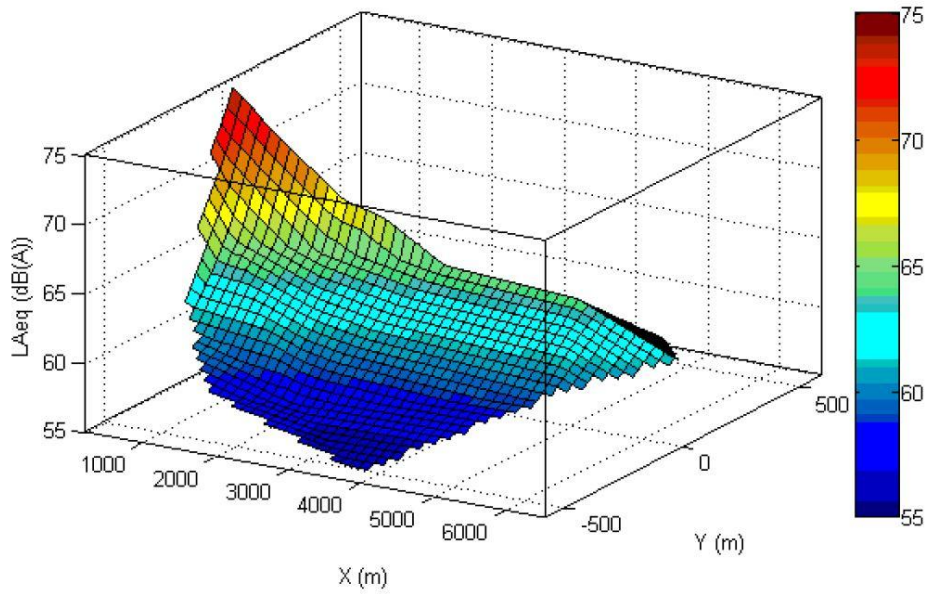
**Şekil 4.23 :**  $L_{gündüz}$  iniş değerleri için bir yaklaşım (Medrano, 2012)

**Çizelge 4.14 :**  $L_{gündüz}$  için yeni noktalar (Medrano, 2012).

Nokta	X (m)	$L_{gündüz}$ (dBA)
1	200	76.41
2	800	72.27
3	1800	68.61
4	1900	68.31

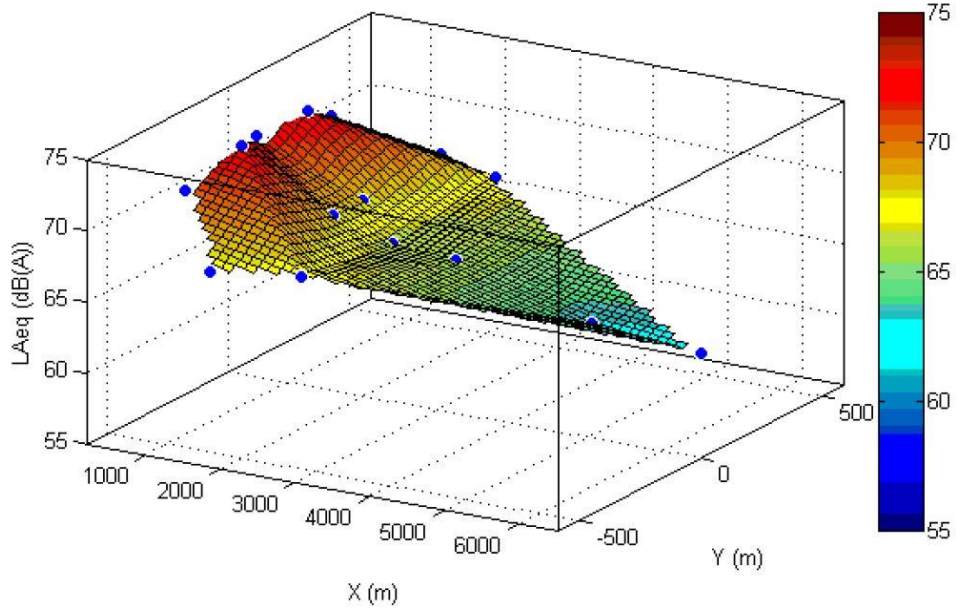
Pist yakınındaki bölgelerde gürültü seviyelerindeki değişiklikler uzak bölgelere göre daha fazladır.

Yaklaşık değerler ile elde edilen yüzey Şekil 4.24'te verilmiştir. Bu yüzey  $L_{gündüz}$  için nihai olarak kabul edilecektir.



**Şekil 4.24 :** Merkezi yaklaşım ile  $L_{gündüz}$  iniş (Medrano, 2012)

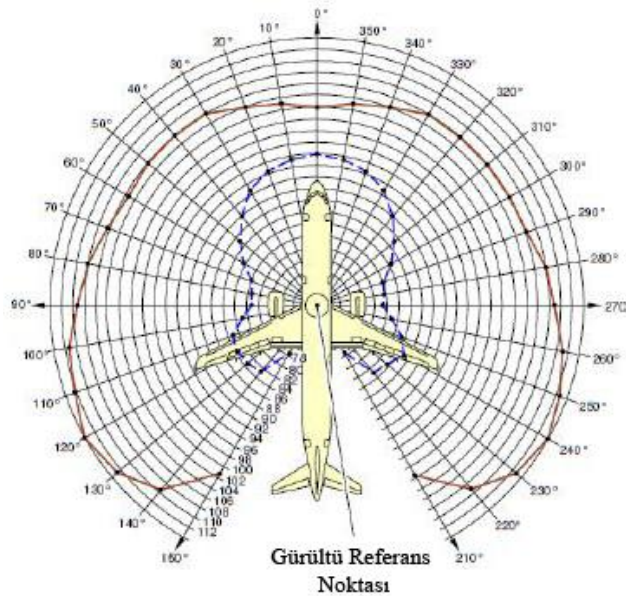
Şekil 4.25'te görülen  $L_{gündüz}$  kalkış gürültü yüzeyi,  $L_{gündüz}$  iniş yüzeyi ile aynı teknik kullanılarak ve Çizelge 4.15'teki veriler de alınarak oluşturulmuştur.



**Şekil 4.25 :**  $L_{gündüz}$  kalkış (Medrano, 2012)

Kalkış yüzeyine bakıldığında, dış bölgelerdeki gürültü düzeyinin daha düşük olduğu gözlemlenebilir. Bu sebeple bir hata olabileceği düşünülerek ölçümler tekrardan yapılmıştır.

Uçağın yan parçalarında gürültü emisyonları daha yüksek olduğu için, uçağın yanal gürültüsü merkez gürültüsünden daha önemlidir. İniş sırasında bu olmaz çünkü Şekil 4.26'da görüldüğü gibi motor tam gaz olmadığı zaman gürültü ön parçada daha fazladır.



**Şekil 4.26 :** Tam gaz motor için gürültü yöneltimi (kırmızı kontur) ve %21.6 motor gücü için gürültü yöneltimi (mavi kontur) (Medrano, 2012)

Önceden hesaplanmış olan Lgündüz yüzeylerini yapılandırmak için, önemli bir zaman dilimi içerisinde pistteki iniş ve kalkış yüzdeleri bilmek gereklidir. Bu durumda, bu süre bir yıl olacaktır. Çalışma alanı için kalkış yüzdesi %30.2 ve iniş yüzdesi %69.8'dir.

Her bir noktada, daha önce maruz kalınan gürültü değerleri yüzdeleri aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır:

$$L_{gündüz} = 10 \log_{10} \left( 0.302 * 10^{\frac{L_{gündüzT_0}}{10}} + 0.698 * 10^{\frac{L_{gündüzL}}{10}} \right) \quad (3.3)$$

L<sub>gündüz</sub>: Gündüz süresince, saatlik eşdeğer gürültü seviyesi (07.00-22.00)

L<sub>gündüzT<sub>0</sub></sub>: Kalkış manevrası için L<sub>gündüz</sub> değeri

L<sub>gündüzL</sub>: İniş manevrası için L<sub>gündüz</sub> değeri

**Çizelge 4.15** : L<sub>gündüz</sub> özet gürültü değerleri (Medrano, 2012).

Nokta	L <sub>gündüz,iniş</sub>	L <sub>gündüz,kalkış</sub>	L <sub>gündüz</sub>
1	58.17	67.46	63.3
2	65.68	72.74	69.16
3	67.71	66.68	67.42
4	65.08	68.146	66.25
5	57.7	67.38	63.14
7	64.95	65.81	65.22
8	61.04	62.5	61.53
9	64.334	63.23	64.03
12	61.509	70.79	66.63
13	73.9	71.89	73.38

Tablodaki değerler sokaklardaki önlemlerden elde edilir ki burada üstten uçan uçaklar tarafından üretilen gürültü konturlarını elde etmek için çıkartılması gereken



bir arka plan gürültüsü her zaman vardır. Ölçümden bu gürültüyü çıkartmak için aşağıdaki formül kullanılır:

$$L_{gündüz} = 10 \log_{10} \left( 10^{\frac{L_{gündüzM}}{10}} - 10^{\frac{B_{kgr}}{10}} \right) \quad (3.4)$$

$L_{gündüz}$ : Arka plan gürültüsü olmayan  $L_{gündüz}$  değeri

$L_{gündüzM}$ : Arka plan gürültüsü olan  $L_{gündüz}$  değeri

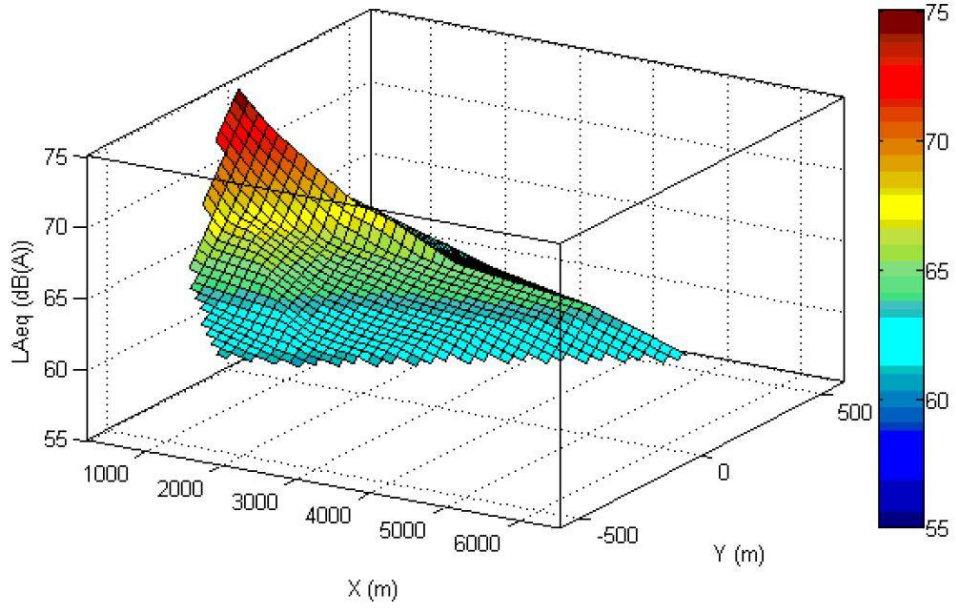
$B_{kgr}$ : Arka plan gürültü seviyesi, 60 dBA

Arka plan gürültüsü olmayan  $L_{gündüz}$  değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir:

Bu noktalarla oluşturulan yüzey Şekil 4.27'de verilmiştir.

**Çizelge 4.16** :  $L_{gündüz}$  son değerleri (Medrano, 2012).

Nokta	1	2	3	4	5	7	8	9	12	13
$L_{gündüz}$	60.57	68.6	66.55	65.07	60.26	63.67	56.27	61.84	65.57	73.18



**Şekil 4.27** :  $L_{gündüz}$  gürültüsü (Medrano, 2012)

İkinci aşama olarak, ölçüm noktalarındaki  $L_{gece}$  değerleri tespit edildikten sonra bu değerler doğrusal ara değerlendirme ile gürültü düzeyini hesaplamak için Matlab programına tanıtılmıştır. Bu işlem  $L_{gündüz}$  için yapılan ile aynı değildir.

Her bir nokta için bulunan  $L_{gece}$  değerleri aşağıdaki tabloda verilmiştir:

**Çizelge 4.17 :** Kalkış ve iniş için  $L_{gece}$  gürültü değerleri (Medrano, 2012).

Nokta	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12	13
İniş	52.49	58.15	60.67	59.7	51.08	58.79	53.22	56.86	53.16	48.87	54.6	66.5
Kalkış	63.82	68.44	58.05	59.34	59.17	57.54	54.86	56.14			64.33	63.3

$L_{gündüz}$  iniş yüzeyinde olduğu gibi, programın ara değerlendirmesi sebebiyle eşğin 2000m etrafında bir yaklaşım gereklidir. Bu sorunu çözmek için gereken yok  $L_{gündüz}$  ile aynıdır. Bu durumda yaklaşım şu şekildedir:

$$L_{gece} = -1.31 * 10^{-10} * x^3 + 1.343 * 10^{-6} * x^2 - 0.006482 * x + 69.83 \quad (3.5)$$

$L_{gece}$ : Gece süresince, saatlik eşdeğer gürültü seviyesi (07.00-22.00)

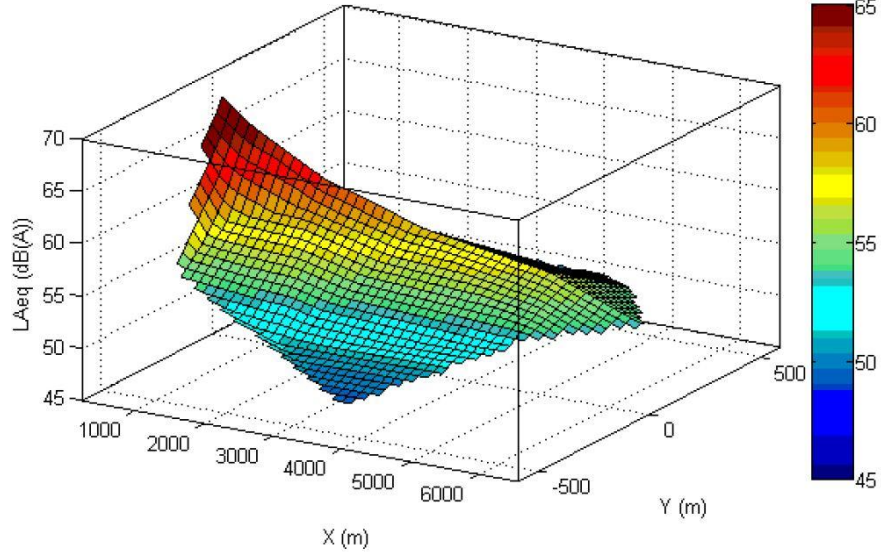
x: eşik mesafesi

Yeni eklenen noktalar Çizelge 4.18'de verilmiştir.

**Çizelge 4.18 :**  $L_{gece}$  için yeni değerler (Medrano, 2012).

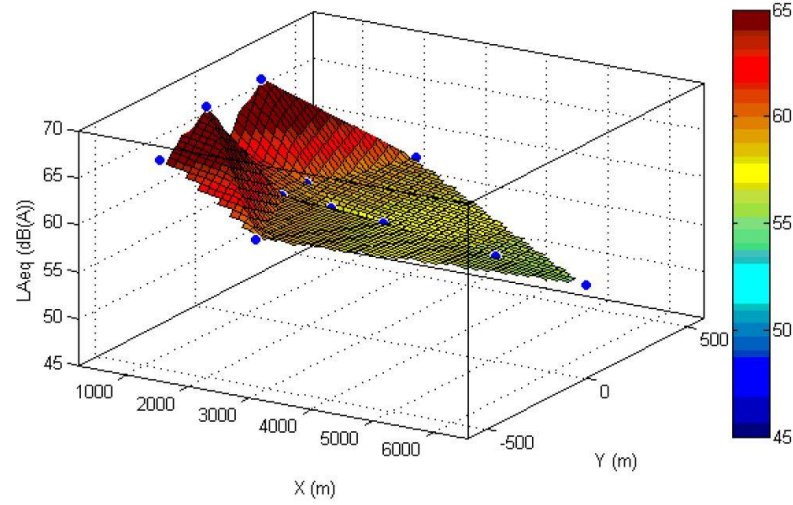
Nokta	X(m)	$L_{gece}$ (dBA)
1	200	68.58
2	800	65.44
3	1800	61.85
4	1900	61.58

Merkez eğrisinin bu yeni noktaları ile iniş için oluşturulan  $L_{gece}$  yüzey Şekil 4.28'de gösterilmiştir.



**Şekil 4.28 :** Merkezi yaklaşım ile  $L_{gece}$  iniş (Medrano, 2012)

$L_{gece}$  kalkış gürültü yüzeyi, Çizelge 4.17 kullanılarak iniş ile aynı teknikle hesaplanmıştır. Kalkış yüzeyi Şekil 4.29'da gösterildiği gibidir.



**Şekil 4.29 :**  $L_{gece}$  kalkış (Medrano, 2012)

Her bir nokta için  $L_{gece}$  değeri aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır.

$$L_{gece} = 10 \log_{10} \left( 0.302 * 10^{\frac{L_{geceT_0}}{10}} + 0.698 * 10^{\frac{L_{geceL}}{10}} \right) \quad (3.6)$$

$L_{gece}$ : Gece süresi içerisinde saatlik eşdeğer gürültü düzeyi (23.00-07.00)

$L_{geceT_0}$ : Kalkış manevrasının gece değeri

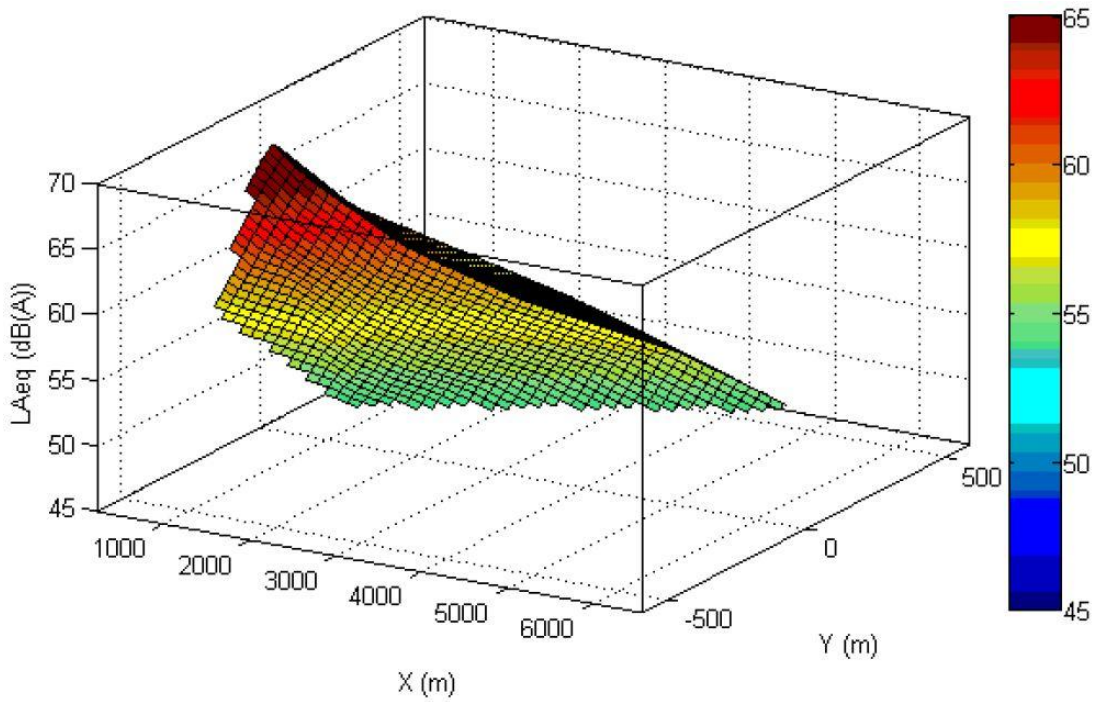
$L_{geceL}$ : İniş manevrasının gece değeri

Gece sokaklarda daha az aktivite olduğu için arka plan gürültüsü düşüktür. Bu değer yaklaşık olarak 53 dBA civarındadır.

Doğrusal değerler ile Çizelge 4.19'daki değerlerin temsili Şekil 4.30'da gösterilmiştir.

**Çizelge 4.19** :  $L_{gece}$  son değerleri (Medrano, 2012).

Nokta	1	2	3	4	5	7	8	9	12	13
$L_{gece}$	58.14	63.73	59.072	58.52	51.44	56.99	45.96	54.2	59.13	65.51



**Şekil 4.30** :  $L_{gece}$  gürültüsü (Medrano, 2012)

Üçüncü aşama için,  $L_{akşam}$ ,  $L_{gündüz}$  ve  $L_{gece}$  arasındaki bir geçiş yüzeyidir. Her bir noktada 'tipik akşam saati' değerleri  $L_{gündüz}$  ve  $L_{gece}$ 'de olduğu gibi hesaplanmıştır. Bu durumda, arka plan gürültüsü 57 dBA olarak alınmıştır. Sonuçlar Çizelge 4.20'de verildiği gibidir.

Son aşamada,  $L_{den}$ , bir günde 24 saat boyunca, küresel gürültü etkisini gösteren bir göstergedir.  $L_{gündüz}$ ,  $L_{akşam}$  ve  $L_{gece}$  aşağıdaki formüle göre hesaplanır.

$$L_{den} = 10 \log_{10} \frac{1}{24} \left[ \sum_{i=1}^{13} 10^{\frac{L_{gündüz,i}}{10}} + \sum_{i=1}^3 10^{\frac{(L_{akşam,i+5})}{10}} + \sum_{i=1}^8 10^{\frac{(L_{gece,i+10})}{10}} \right] \quad (3.7)$$

$L_{den}$ : Günlük gürültü seviyesi

$L_{gündüz}$ : 07.00-20.00 arası için  $LA_{eq,1h}$

$L_{akşam}$ : 20.00-23.00 arası için  $LA_{eq,1h}$

$L_{gece}$ : 23.00-07.00 arası için  $LA_{eq,1h}$

$L_{den}$ , önceden hesaplanmış olan  $L_{gündüz}$ ,  $L_{akşam}$  ve  $L_{gece}$  değerlerinin her noktası için hesaplanmıştır. Aşağıdaki denklemde, her dönemde tüm saatler için 'tipik saat' varsayımı kullanılmıştır.

$$L_{den} = 10 \log_{10} \frac{1}{24} \left[ 13 * 10^{\frac{L_{gündüz}}{10}} + 3 * 10^{\frac{(L_{akşam}+5)}{10}} + 8 * 10^{\frac{(L_{gece}+10)}{10}} \right] \quad (3.8)$$

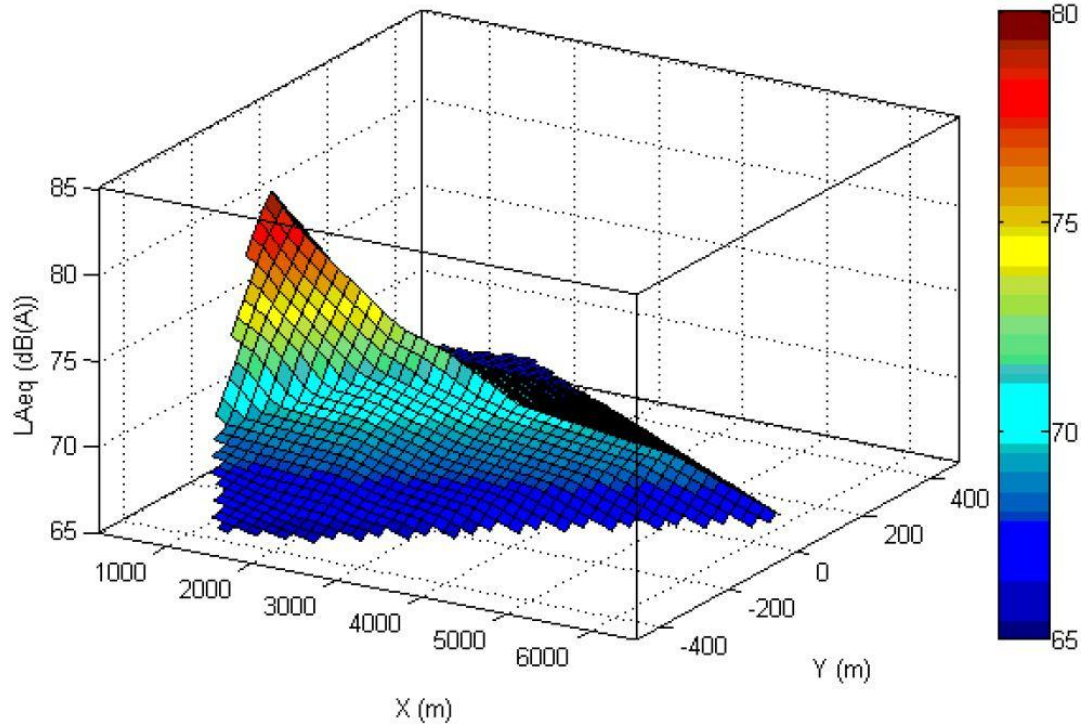
$L_{den}$ : Günlük gürültü seviyesi

$L_{gündüz}$ : 'Tipik gündüz saati' için  $LA_{eq,1h}$

$L_{akşam}$ : 'Tipik akşam saati' için  $LA_{eq,1h}$

$L_{gece}$ : 'Tipik gece saati' için  $LA_{eq,1h}$

Her noktada, bu denklem kullanılarak elde edilen sonuçlar çizelge 4.20 ve 4.21'de verilmiştir.



Şekil 4.31 : Lden gürültü modeli (Medrano, 2012)

**Çizelge 4.20 :  $L_{gece}$  gürültü değerleri özeti (Medrano, 2012).**

<b>Nokta</b>	<b><math>L_{gece,iniş}</math></b>	<b><math>L_{gece,kalkış}</math></b>	<b><math>L_{gece}</math></b>	<b><math>L_{gece}</math> (arka plan gürültüsü yok)</b>
1	57.27	66.54	62.38	60.908
2	64.5	71.9	68.22	67.08
3	66.08	67.01	66.38	65.85
4	64.31	67.46	65.52	64.86
5	56.74	66.26	62.05	60.43
7	63.65	65.06	64.12	63.19
8	59.85	61.34	60.35	57.66
9	63.34	62.16	63.01	61.76
12	59.75	69.61	65.33	64.65
13	72.65	71.244	72.27	72.14

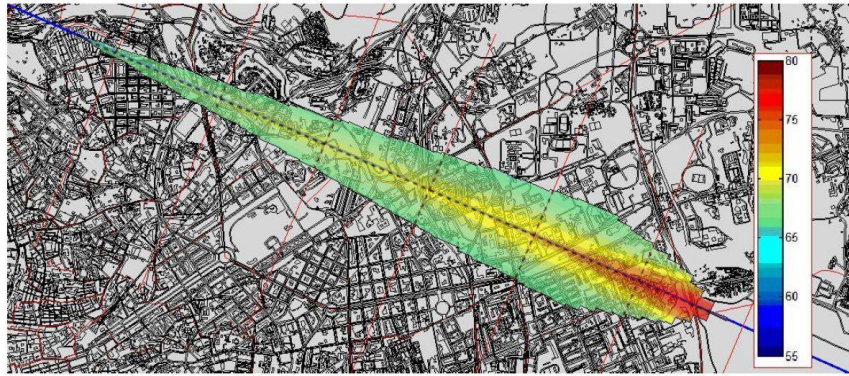
**Çizelge 4.21 :  $L_{den}$  gürültü değerleri özeti (Medrano, 2012).**

<b>Nokta</b>	<b><math>L_{gündüz}</math></b>	<b><math>L_{akşam}</math></b>	<b><math>L_{gece}</math></b>	<b><math>L_{den}</math></b>
1	60,57	58,14	60,91	66,98
2	68,61	63,74	67,88	74,04
3	66,56	59,07	65,85	71,93
4	65,08	58,52	64,86	70,88
5	60,27	51,44	60,43	66,35
7	63,68	56,99	63,19	69,25
8	56,27	45,96	57,67	63,41

**Çizelge 4.21 (Devam) : Lden gürültü değerleri özeti (Medrano, 2012)**

Nokta	L <sub>gündüz</sub>	L <sub>akşam</sub>	L <sub>gece</sub>	L <sub>den</sub>
9	61,84	54,21	61,77	67,74
12	65,58	59,14	64,65	70,79
13	73,18	65,52	72,14	78,28

Tüm önceden hesaplanmış yüzeyler üzerinde uçan uçakların etkilenen bölgedeki gerçek etkisini göstermek için bölgenin bir harita üzerinde gösterilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, gürültü yüzeyleri AutoCad programı yardımı ile hazırlanan Lizbon şehir haritası üzerinde sunulmuştur. Sonuçlar Şekil 4.32’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.32 : Ölçülen L<sub>den</sub> gürültü konturları (Medrano, 2012)**

#### **4.2.4 Heathrow Havalimanı, İngiltere**

Bu bölümde incelenen son havalimanı, Londra şehir merkezinin yaklaşık olarak 21km batısında bulunan Heathrow Havalimanı’dır. Havalimanı çevresinde çeşitli banliyö konut, iş yerleri ve karma kullanıma açık araziler bulunmaktadır. Heathrow Havalimanı’nda kuzeyde 3901m uzunluğundaki Pist 09L/27R pisti ile güneyde 3660m uzunluğundaki 09R/27L pisti olmak üzere iki adet pist bulunmaktadır. 2011 yılı verilerine dayanarak elde edilen havalimanı yerleşim planı Şekil 4.33’te gösterilmektedir (Lee ve diğ, 2013).

Heathrow Havalimanı gürültü modeli için, İngiltere sivil uçak gürültü modeli ANCON kullanılmıştır. Modelleme için gereken kalkış/iniş verileri, uçuş profil

yükseklikleri, hız ve itme ile ilgili gürültü emisyon verileri, 2011 yılı yaz dönemi Leq kontur hesabında kullanılan verilerin aynısı baz alınmıştır.

Yapılan hesaplamalar doğrultusunda elde edilen Lgündüz konturları Şekil 4.34'te gösterilmiştir. Elde edilen konturlar doğrultusunda, kontur alanları içinde kalan konutlar ve nüfus verileri de Çizelge 4.22'de listelenmiştir. Şekil 4.35'te ise Lakşam konturları verilirken nüfus ve konut bilgileri de Çizelge 4.23'te ortaya koyulmuştur. Şekil 4.36'da gösterilen Lgece konturlarında, Lgündüz ve Lakşama göre farklılık göze çarpmaktadır. Gece gürültüsünden etkilenen bölgeler daha azdır ve gürültüden etkilenen nüfus sayısındaki düşüş Çizelge 4.24'te de gözlemlenmektedir. Çalışmanın diğer bir aşaması olan Lden gürültü konturları Şekil 4.37'de, gürültüden etkilenen nüfus yoğunluğu da Çizelge 4.25'te gösterilmektedir. Ve çalışmanın son aşamasında, Leq,16 saat gürültü konturları Şekil 4.38'de verilirken nüfus yoğunluğu da Çizelge 4.26'da gösterilmiştir.

**Çizelge 4.22 :**  $L_{day}$  ( $L_{gündüz}$ ) gürültü konturları etkilediği nüfus yoğunluğu (Lee ve diğ., 2013).

<b>Ld (Lgündüz) konturları dBA</b>	<b>Alan</b>	<b>Nüfus (x1000)</b>	<b>Konut (x1000)</b>
55-60	103,4	338,9	143,9
60-65	33,1	94,4	34,5
65-70	16,1	19,4	6,6
70-75	4,8	1,7	0,7
>75	2,9	<0,1	<0,1

**Çizelge 4.23 :**  $L_e$  ( $L_{akşam}$ ) gürültü konturları etkilediği nüfus yoğunluğu (Lee ve diğ., 2013).

<b>Le (Lakşam) konturları dBA</b>	<b>Alan</b>	<b>Nüfus (x1000)</b>	<b>Konut (x1000)</b>
55-60	106,7	325,2	133,5
60-65	32,8	84,8	30,5
65-70	15,6	14,3	5
70-75	4,8	1,3	0,6
>75	3,1	<0,1	<0,1



**Çizelge 4.24 :**  $L_n(L_{gece})$  gürültü konturları etkilediği nüfus yoğunluğu (Lee ve diğ., 2013).

<b><math>L_n(L_{gece})</math> konturları dBA</b>	<b>Alan</b>	<b>Nüfus (x1000)</b>	<b>Konut (x1000)</b>
55-60	47,8	144,2	60,7
60-65	17,6	51,9	18,3
65-70	5,9	13,7	4,4
70-75	1,8	1,5	0,5
>75	1,5	<0,1	<0,1

**Çizelge 4.25 :**  $L_{den}(L_{gag})$  gürültü konturları etkilediği nüfus yoğunluğu (Lee ve diğ., 2013).

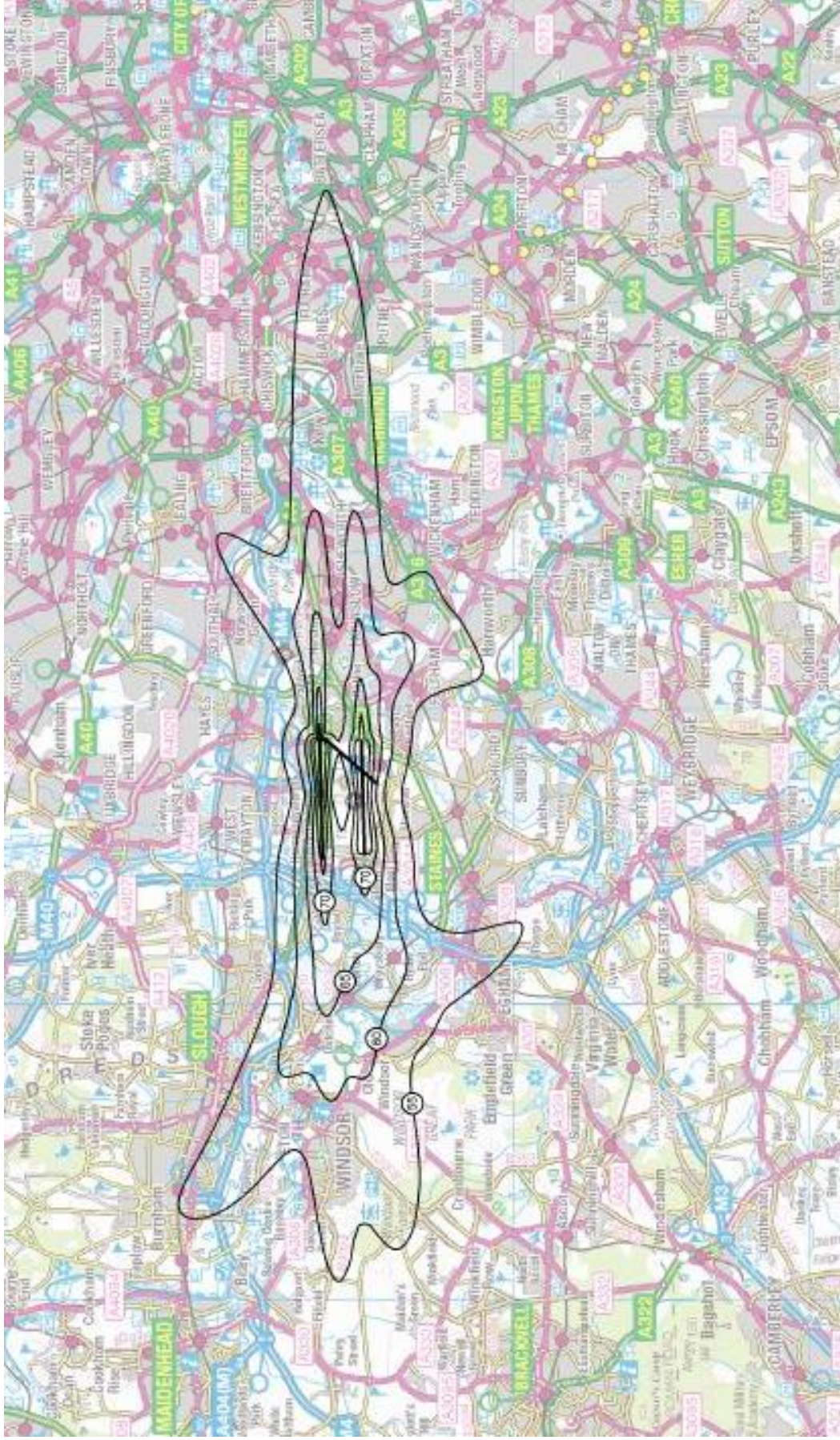
<b><math>L_{den}(L_{gag})</math> konturları dBA</b>	<b>Alan</b>	<b>Nüfus (x1000)</b>	<b>Konut (x1000)</b>
55-60	142	574,6	256,3
60-65	48	138,8	55,4
65-70	21	46,1	16
70-75	7	6,5	2,2
>75	3,9	0,1	<0,1

**Çizelge 4.26 :**  $L_{eq, 16}$  gürültü konturları etkilediği nüfus yoğunluğu (Lee ve diğ., 2013)

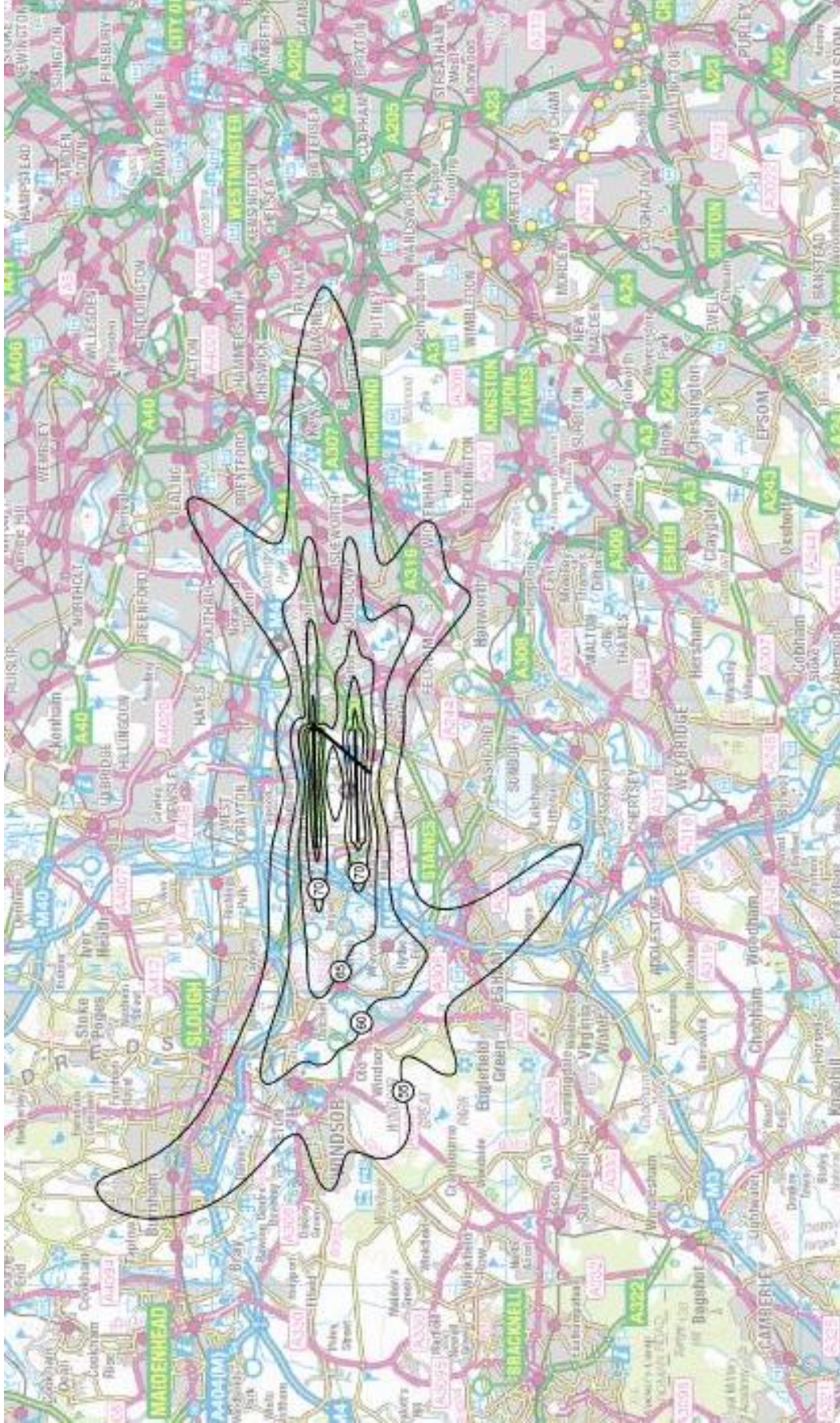
<b>Yıllık <math>L_{eq,16}</math> konturları dBA</b>	<b>Alan</b>	<b>Nüfus (x1000)</b>	<b>Konut (x1000)</b>
55-60	103,5	338,8	142,5
60-65	32,9	91	33
65-70	15,9	17,8	6
70-75	4,8	1,5	0,6
>75	3	<0,1	<0,1



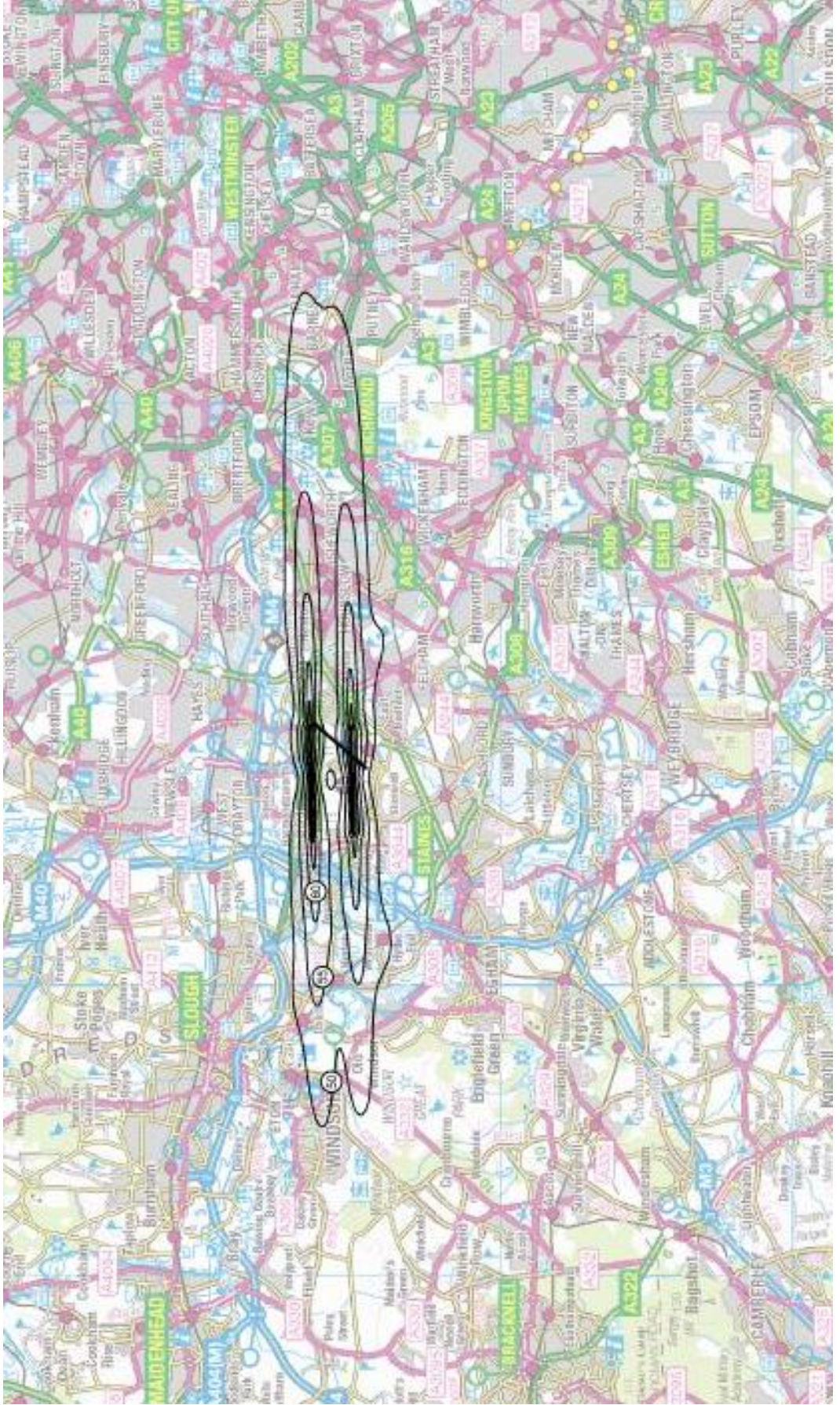
Şekil 4.33 : Heathrow Havalimanı planı (Lee ve diğ., 2013)



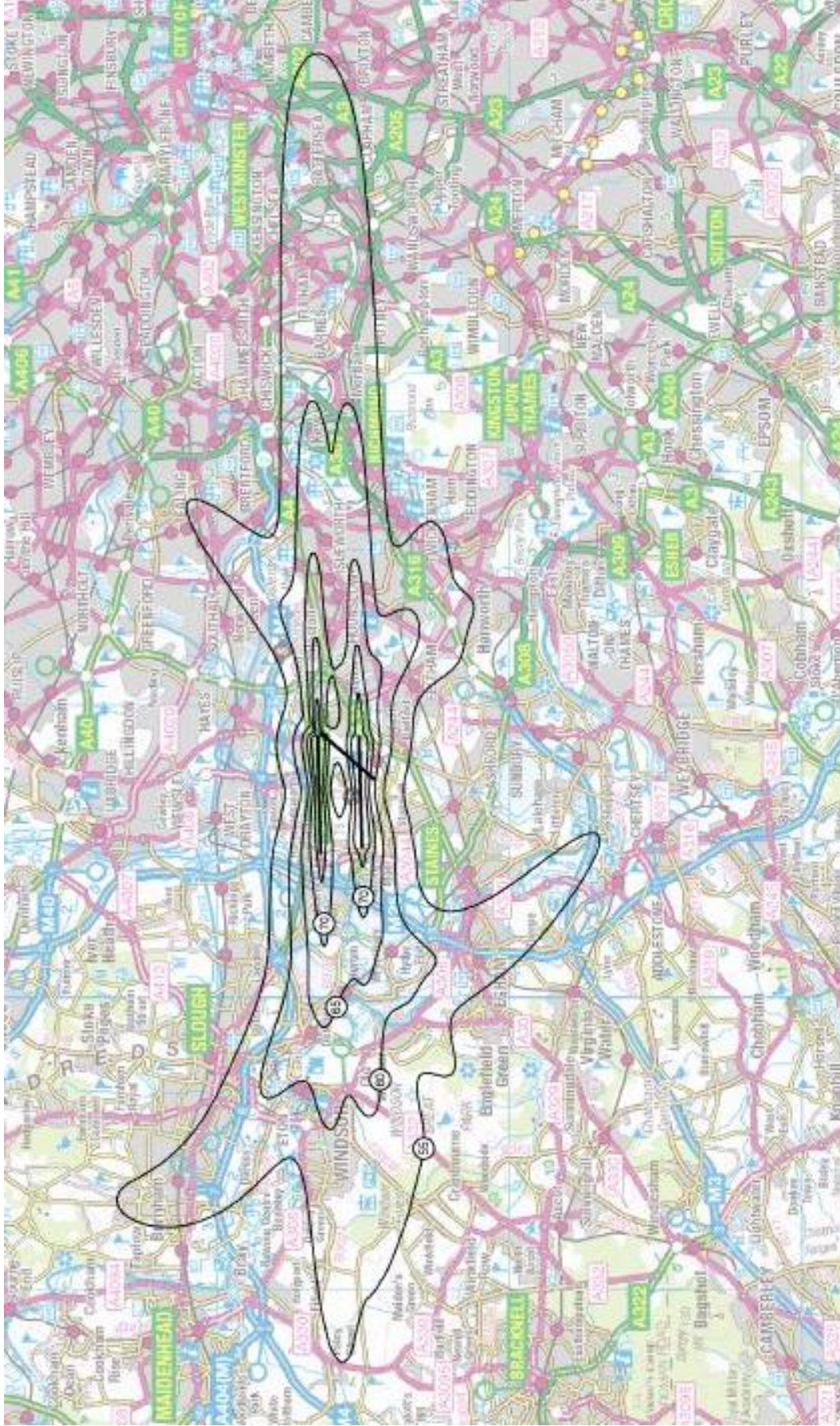
Şekil 4.34 : 2011 yılı Heathrow Lgündüz konturları (Lee ve diğ., 2013)



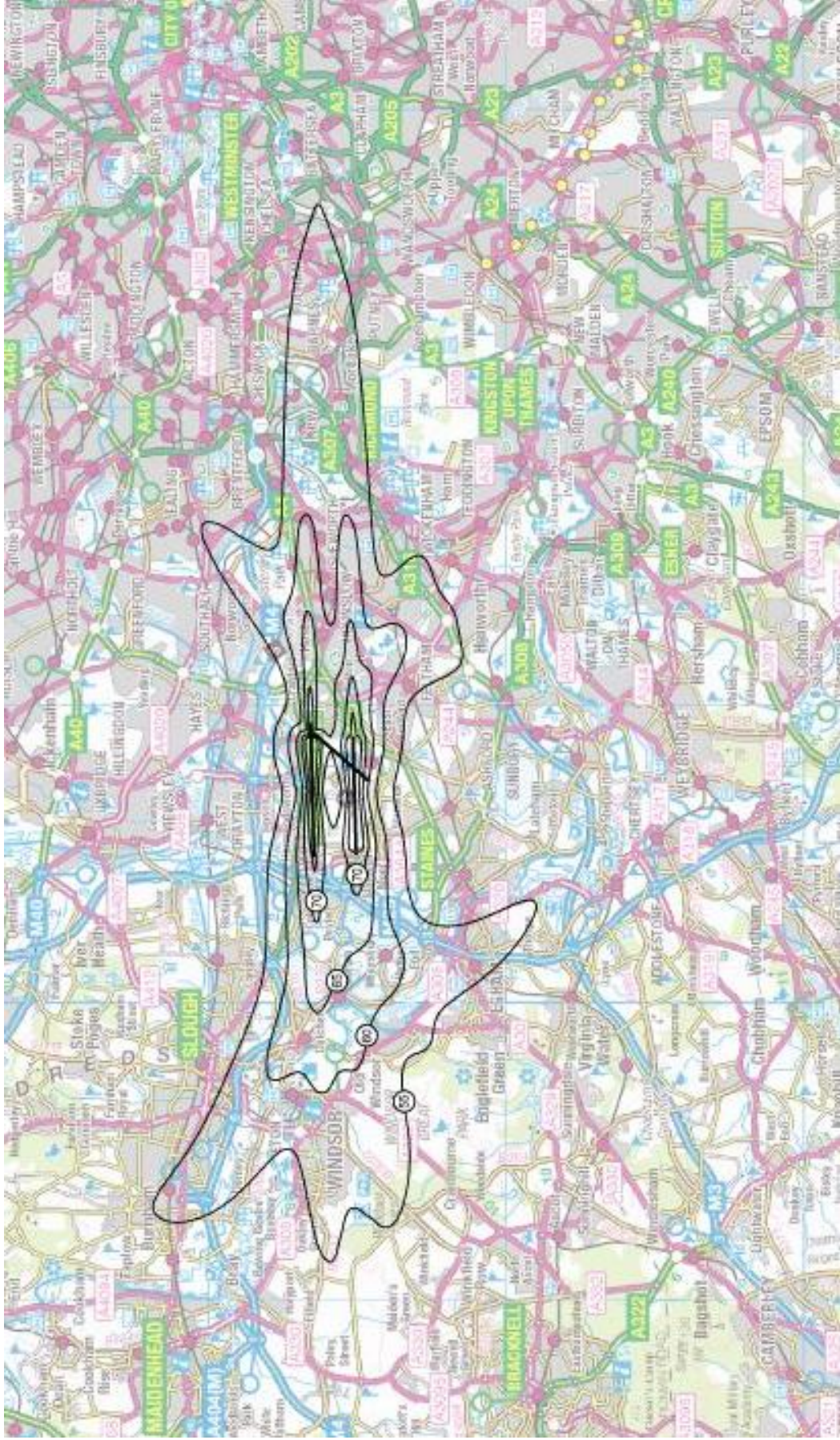
Şekil 4.35 : 2011 yılı Heathrow Lüksam konturları (Lee ve diğ., 2013)



Şekil 4.36 : 2011 yılı Heathrow  $L_{gecc}$  konturları (Lee ve diğ., 2013)



Şekil 4.37 : 2011 yılı Heathrow  $L_{den}$  konturları (Lee ve diğ., 2013)



Şekil 4.38 : 2011 yılı Heathrow  $L_{eq,16saat}$  konturları (Lee ve diğ., 2013)

### **4.3 Havalimanı Gürültü Haritalama İle İlgili Amerika'da Yapılan Örnek**

#### **Çalışmalar**

Sağlık ve Diğer İletişim Bozuklukları Ulusal Enstitüsü'ne göre, Amerika Birleşik Devletleri'nde yüksek sese maruz kalarak işitme kaybı yaşayan yaklaşık 30 milyon kişinin yanında ortalama 10 milyon kişi de duyma bozukluğu yaşamaktadır ve buna ek olarak 30 milyon kişinin de günlük olarak tehlikeli gürültüye maruz kaldığı belirlenmiştir. Halkın maruz kaldığı tek düze gürültünün kontrolünü sağlamak için federal kurumlar arasında görev paylaşımı yapılmıştır. Geçmişte, Çevre Koruma Ajansı (EPA), gürültünün azaltılması ve kontrolü konusunda tüm federal gürültü kontrol faaliyetlerini kontrol etmekteydi. Ancak, Kongre, eyalet ve yerel yönetimlere gürültü düzenlemede birincil sorumluluğu aktarmak için 1983 yılında değişime gitmiştir. EPA artık gürültü kontrolünde önemli bir rol üstlenirken, EPA'nın geçmiş standart ve yönetmelikleri yürürlükte kalmak kaydıyla diğer federal kurumlar kendi yasal yetki alanları içerisinde gürültü kontrol standartlarını belirlemeye ve uygulamaya devam etmişlerdir.

Uçak Gürültü Azaltım Yasası 1986, uçaklar tarafından oluşturulan gürültü için güvenli standartları geliştirmek ve uygulamak için Federal Havacılık İdaresi (FAA)'ne gereksinim duymuştur. FAA, bu standartları geliştirirken gürültü kısıtlamalarını izlemiştir. Federal gürültü kontrol yönetmeliği, uçakları 3 sınıfta tanımlamıştır: Evre 1, Evre 2 ve Evre 3. 1.Evrede uçaklar en gürültülü iken 3.Evrede en sessizdir. Ancak, tüm 1.Evre uçakları ticari aşamalıdır ve 75000 pound üzerinde modifiye edilmemiş 2.Evre uçakları 1990 Havalimanı Gürültü ve Kapasite Yasası gereğince, 31 Aralık 1999'a kadar aşamalandırılmıştır. Geçerli operasyonlardaki tüm 3.Evre uçakları, uçak ağırlığına ve motor sayısına bağlı olarak 89-106 dBA arasında değişen pist kalkış, iniş ve yanal standartlarına uygun olmalıdır (URL,7).

FAA standartları kapsamında Amerika Birleşik Devletleri'nde yapılan havalimanı gürültü kontrol çalışmalarından bazılarını aşağıda yer verilmiştir.

#### **4.3.1 Oakland Uluslararası Havalimanı, Kaliforniya**

Oakland Uluslararası Havalimanı, Kaliforniya eyaletinin Alameda şehrinin 5 mil güneyinde konumlanmıştır. San Francisco içindeki 3 uluslar arası havalimanından biridir. Havalimanı yıllık yolcu kapasitesi 2007 yılı verilerine göre 14.6 milyon iken 2011 yılı verilerinde düşüş olduğu ve bu kapasitenin 9.4 milyon civarı olduğu

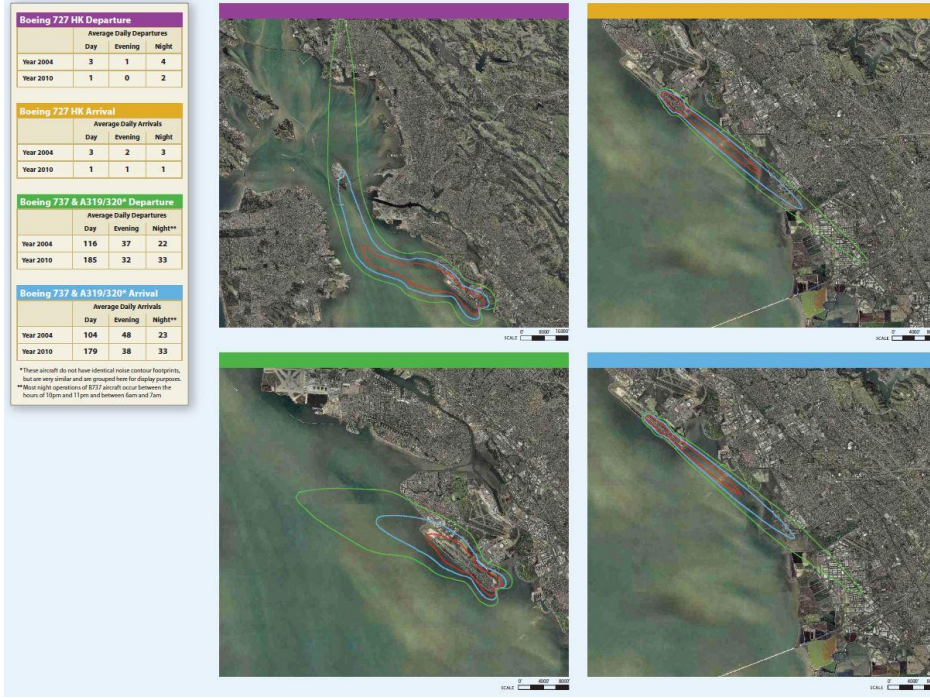


gözlemlenmiştir. Havalimanı içerisinde 4 adet pist bulunmaktadır. Bunlar; 3206m uzunluğundaki pist 12/30, 1894m uzunluğundaki pist 10R/28L, 1664m uzunluğundaki pist 10R/28L ve 1029m uzunluğundaki 15/33 pistidir. 2012 yıllık verilerine göre havalimanında gerçekleşen uçuş operasyonu sayısı 201.626'dır.

Kaliforniya Ulaştırma Bölümü Havacılık Departmanı, Havalimanı Gürültü Yönetmeliği'ni yürütür. Bu düzenlemeler gürültü etkisinde 65 Cnel'i sınır olarak alır ve hiçbir uyumsuz kullanımı yoktur. Havalimanı çevresinde ikamet eden makul nüfus sayısı için 65Cnel gürültü seviyesi kabul edilir. Çevre havaalanları bu kurallara uymak durumundadır. Genel Plan Gürültü Ögeleri, Cnel ve DNL gibi metrik bir kümülatif gürültü kullanarak gürültü / arazi kullanımı uyumluluk kriterleri oluşturulması ve uyumluluk sağlanması için programlar kurarak nicel gürültü ortamının açıklanmasına izin verir. Bu çalışmada, Oakland Uluslar arası Havalimanı uçak operasyonlarını modellemek için FAA Entegre Gürültü Modeli (INM) kullanılmıştır.

Çalışma sonucunda elde edilen gürültü kontur haritaları Şekil 4.39 ve 4.40'ta gösterilmiştir. Şekillerde büyük uçakların kalkış ve inişi için ses maruziyet seviyesi (SEL) konturları görülmektedir. Şekil 4.39'da tek bir olay için gürültü konturları, Boeing 727 Hushkit, Boeing 737 ve Airbus 320 ailesi çift motorlu jet uçakları için gösterilmiştir. Şekil 4.40'ta ise tek bir olay için, Boeing 767 ve Airbus 320 ailesi gibi geniş gövdeli çift motorlu uçaklar için ve Boeing/McDonnell Douglas MD-11 ve eski Boeing/McDonnell DC-10 gibi geniş gövdeli üç motorlu uçaklar için gürültü konturları gösterilmiştir. Şekillerde aynı zamanda bu tür uçaklar için 2004 yılı ortalama günlük operasyon sayılarını ve 2010 yılı tahminlerini karşılaştıran tablolar bulunmaktadır. Bu verilerde, B727 Hushkit uçakların tahmini operasyon sayılarındaki azalma ve yeni tip uçakların operasyon sayılarındaki artış gösterilmiştir. Bunun yanında Şekil 4.41'de 2004 yılı Cnel konturlarını gözlemleyebiliriz. Kesikli mavi çizgi ile gösterilen 65 Cnel konturu, Körfez Çiftlik Adası ve San Francisco Körfezi yakınlarındaki San Lorenzo'nun güney kıyısına kadar ulaşmaktadır. Şekil 4.42'de ise yapılan çalışmalar ve tahmini istatistikler doğrultusunda 2010 yılında olması beklenen Cnel konturları görülmektedir. Şekil 4.43'te ise bu tahmini konturlar ile var olan gürültü konturlarının karşılaştırılmasına yer verilmiştir. Görüldüğü üzere, 2010 yılı konturları mevcut duruma göre daha az

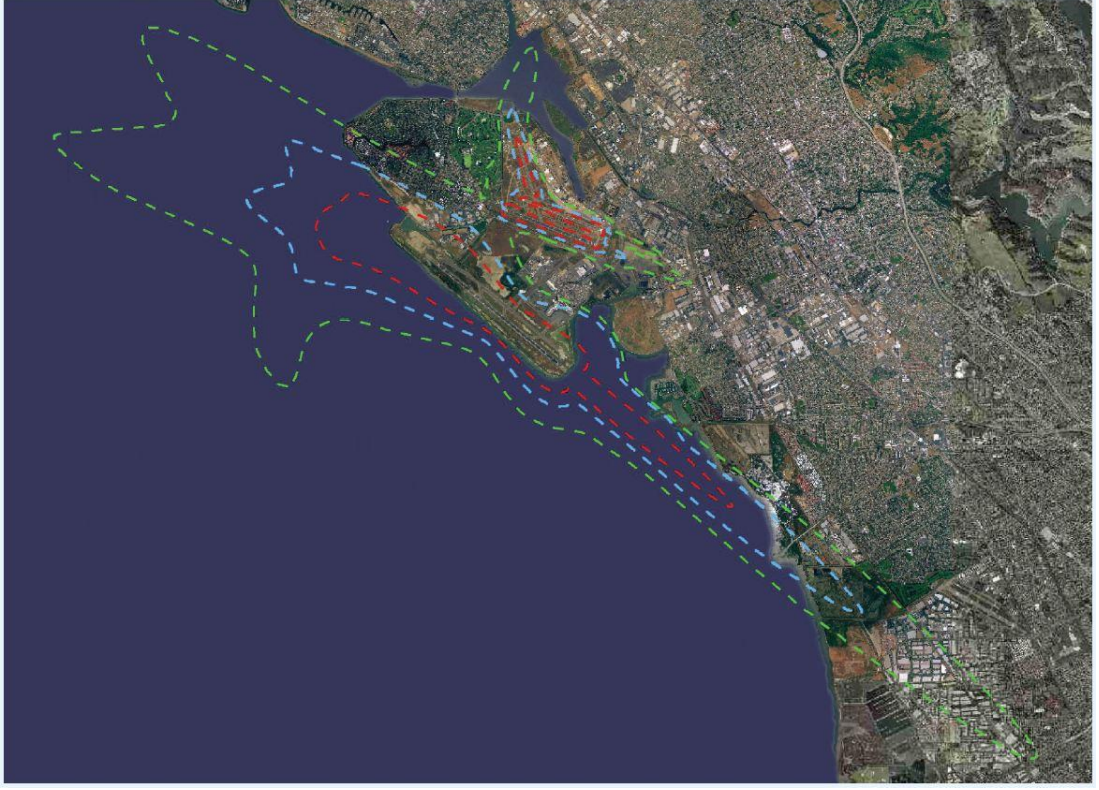
bir alanda bulunmaktadır. Bunun sebebi olarak da gelişen teknolojiyle birlikte uçakların daha sessiz hale getirileceği ön görülmüştür.



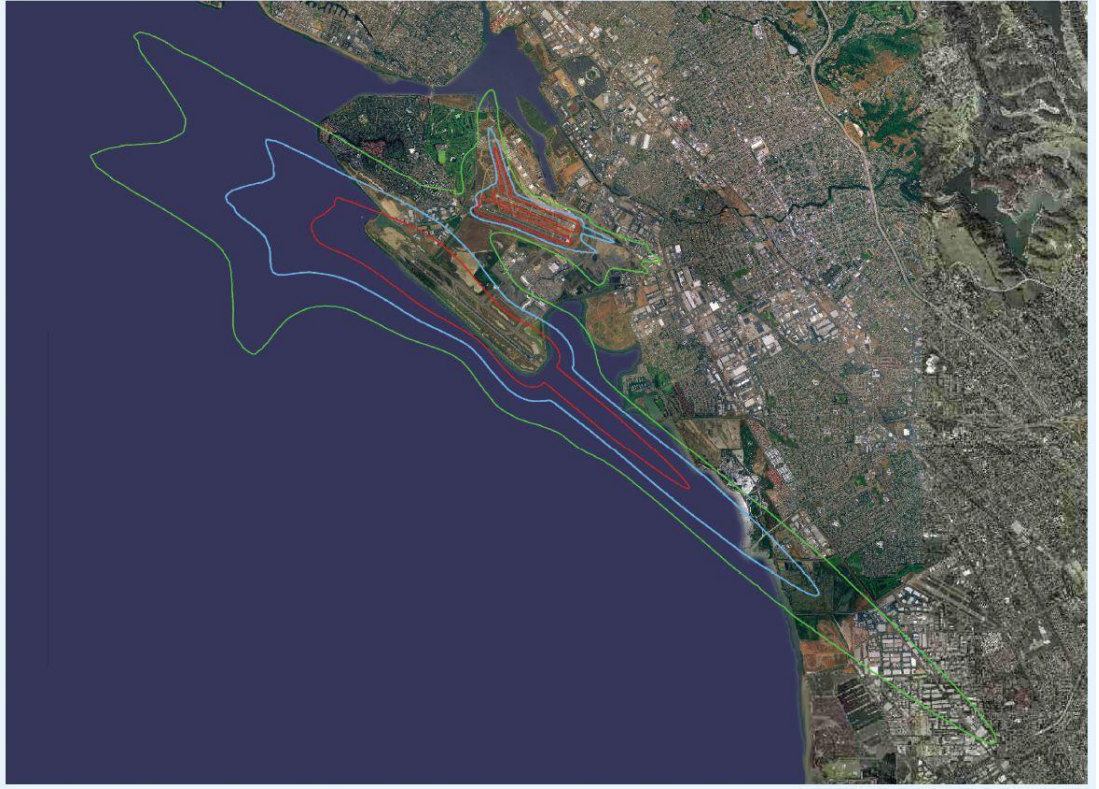
Şekil 4.39 : Tek bir olay için gürültü konturları; Boeing 727 Hushkit, Boeing 737 ve Airbus 320 ailesi çift motorlu jet uçakları için (Oakland Havalimanı, 2006)



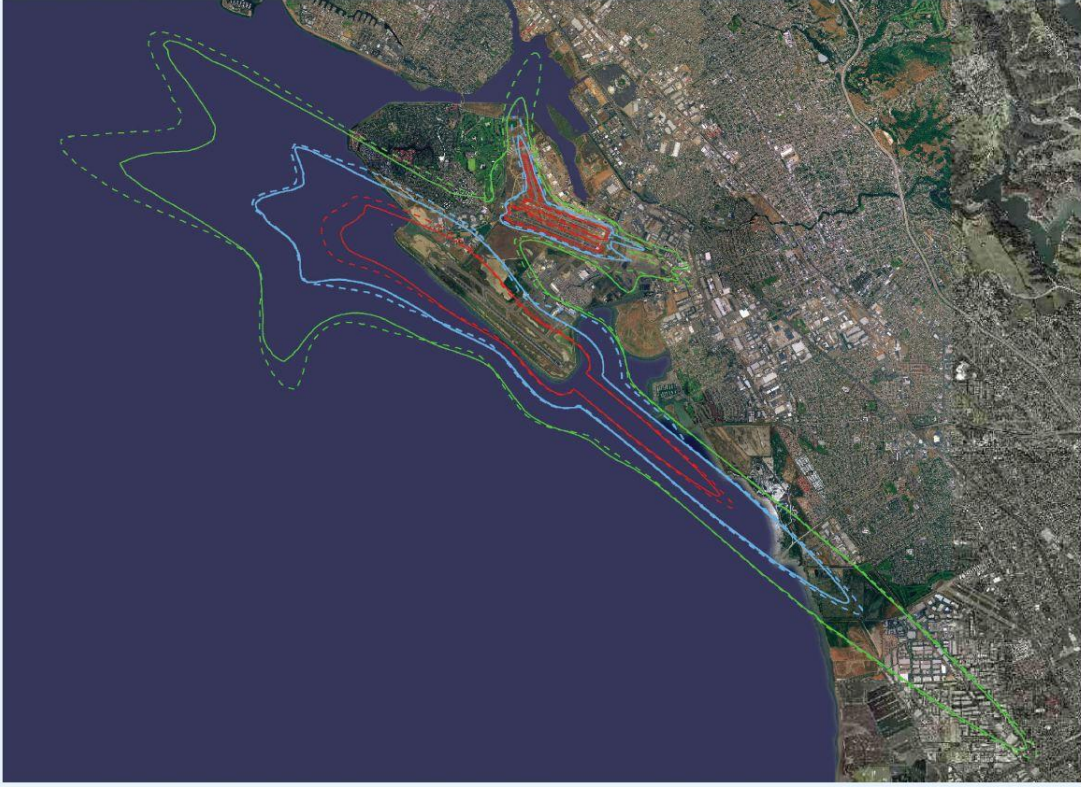
Şekil 4.40 : Tek bir olay için gürültü konturları; Boeing 767 ve Airbus 320 ailesi geniş gövdeli çift motorlu uçaklar için (Oakland Havalimanı, 2006)



Şekil 4.41 : Oakland Havalimanı 2004 yılı Cnel konturları (Oakland Havalimanı, 2006)



Şekil 4.42 : Oakland Havalimanı 2010 yılı Cnel konturları (Oakland Havalimanı, 2006)



**Şekil 4.43 :** Oakland Havalimanı 2004 ve 2010 yılları için Cnel konturları (Oakland Havalimanı, 2006)

#### **4.3.2 Kendall Tamiami Havalimanı, Miami**

Kendall-Tamiami Havalimanı (TMB), Miami Uluslararası Havalimanı (MIA) trafiğini rahatlatmak amacıyla inşa edilmiştir ve Miami şehir merkezinin 13km güney batısında yer almaktadır. Havalimanında, 5003 feet uzunluğundaki 9L/27R pisti, 5002 feet uzunluğundaki 9R/27L pisti ve 4001 feet uzunluğundaki 13/31 pisti olmak üzere üç adet pist bulunmaktadır. Çalışma alanının içerisine, havalimanının kuzeyindeki konutlar, batısındaki boş araziler, doğusundaki karışık ticari ve sınırlı yerleşim alanları ile güneyindeki ticari, endüstriyel ve konut alanları dahil edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada gürültü modellemesi için INM yazılım programı kullanılmıştır.

TMB gürültü kontrolünü yapabilmek için öncelikli olarak bazı veriler elde edilmiştir. 2008 yılı, yıllık operasyon verileri Çizelge 4.27'de verilmiştir. Uçak operasyonları lokal veya geçici olarak sınıflandırılabilir. Geçici olarak tanımlanan operasyonlar uçağın iki farklı havalimanı arasındaki operasyonunu ifade ederken, lokal operasyonlar eğitim uçuşları gibi kalkış ve inişin aynı havalimanında gerçekleştiği operasyonları temsil eder. Çizelge 4.28, 2008 yılı verilerine göre TMB'de gerçekleşen lokal ve geçici operasyon sayılarını göstermektedir. Çizelge 4.29'da ise

pist kullanımları verilmiştir. Tabloya bakıldığında, pist 9R/27L'nin uçuş operasyonlarının %50'sinin gerçekleştiği pist olduğu görülmektedir. Ayrıca bu pist, jet uçakları tarafından da kullanılan birincil pisttir. Bu pistin birincil olarak kullanılmasının pek çok nedeni vardır: İlk olarak, Aletli İniş Sistemi (ILS) bu pistte yer almaktadır; ikinci olarak işletmelerin çoğunluğu havalimanının güney tarafında bulunmaktadır; üçüncü olarak gece operasyonlarının çoğu burada gerçekleşmektedir.

**Çizelge 4.27 : 2008 yılı uçuş operasyonları (ESA, 2009).**

<b>Büyük jet</b>	<b>Genel Uçuş</b>	<b>Askeri</b>	<b>Helikopter</b>	<b>Toplam</b>
36	260,602	63	55,405	316,106

**Çizelge 4.28 : 2008 yılı geçici ve yerel uçuş operasyonları (ESA, 2009).**

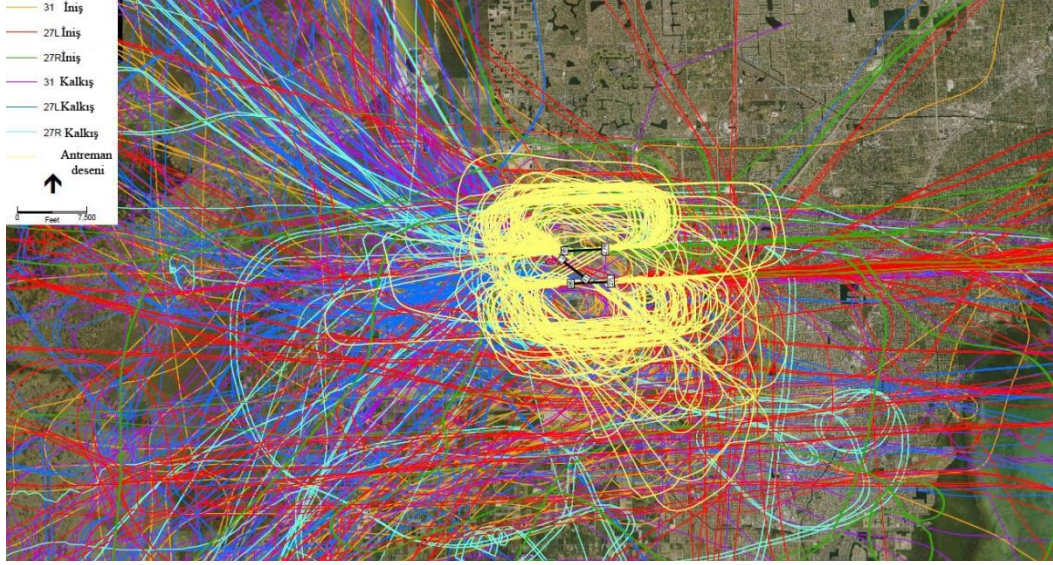
<b>Geçici Operasyonlar</b>	<b>Yerel Operasyonlar</b>	<b>Toplam</b>
149,775	166,331	316,106

**Çizelge 4.29 : 2008 yılı genel pist kullanımı (ESA, 2009).**

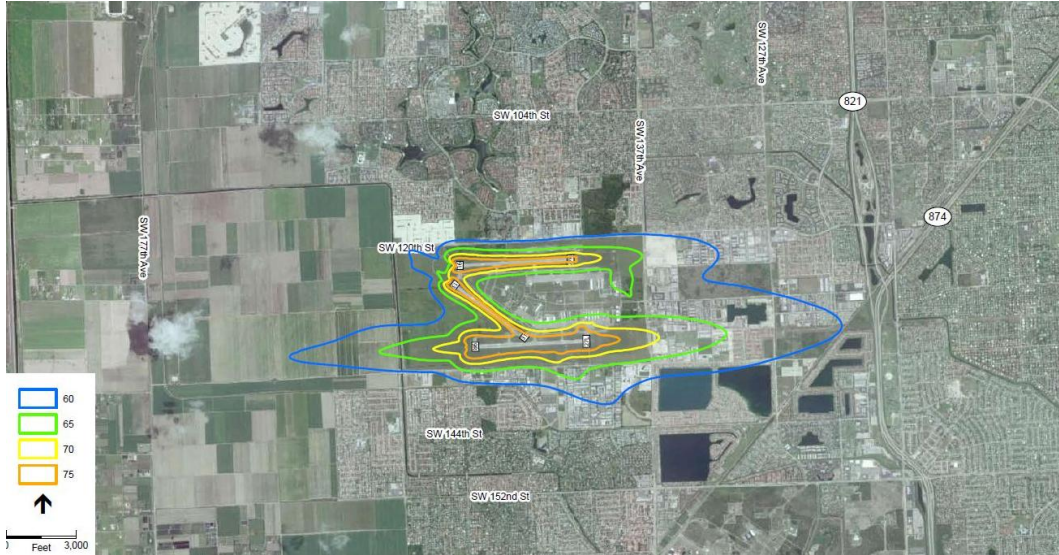
<b>Pist</b>	<b>Kullanım Yüzdesi</b>	<b>Toplam Pist Kullanım Yüzdesi</b>
9L	31.9	
27R	6.1	38
9R	42	
27L	11.5	53.5
13	5.2	
31	3.3	8.5
Toplam	100	100

TMB için hazırlanan 2008 yılı 60, 65, 70 ve 74 DNL gürültü konturları Şekil 4.44'te sunulmuştur. 65 DNL konturu, havalimanı mülkiyet sınırının 3000 feet doğusundan pist 9R/27L'ye kadar genişletilmiş merkez boyunca uzanmaktadır. Doğuda daha

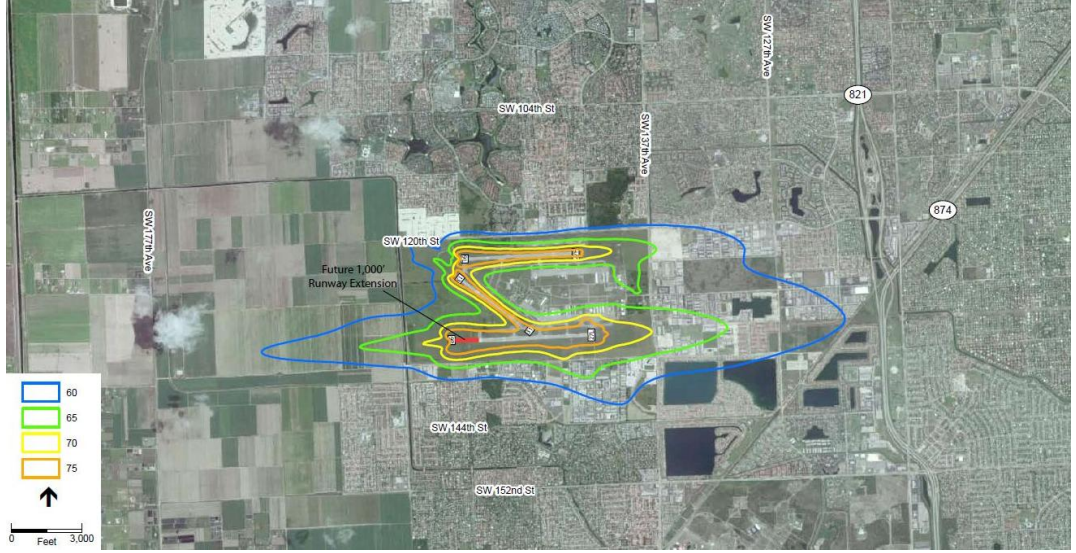
büyük konturların oluşmasının sebebi doğu aksındaki operasyonlardır. 70 ve 75 DNL konturları havalimanı sınırlarında kalmıştır. Şekil 4.45'te gösterildiği gibi, DNL gürültü konturları, operasyon sayısının fazlalığı sebebiyle pist 9R/27L'de daha büyüktür. FAA, 2018 yılına kadar TMB'deki operasyon sayısının 377,111'e artacağını tahmin etmiştir. 2018 yılı tahmini 60, 65, 70 ve 75 DNL gürültü konturları Şekil 4.46'da verilmiştir. 2018 yılı gürültü konturlarının 2008 yılı konturlarından büyük çıkmasının sebebi, uçak operasyon sayısındaki tahmini artıştır (ESA, 2009).



Şekil 4.44 : Uçuş pisti-batı akışı (ESA, 2009)



Şekil 4.45 : 2008 yılı DNL konturları (ESA, 2009)



Şekil 4.46 : 2018 yılı DNL konturları (ESA, 2009)

#### 4.4 Havalimanı Gürültü Haritalama İle İlgili Diğer Ülkelerde Yapılan Örnek Çalışmalar

Temelde Uluslar arası Sivil Havacılık Örgütü (ICAO) yasaları baz alınmak suretiyle, her ülkenin, her bölgenin hatta bazen her şehrin kendi havalimanı yönetmeliklerini ve kurallarını oluşturduğunu söylemek mümkündür. Şu ana kadar, Türkiye, Avrupa ve Amerika'dan çeşitli havaalanlarında yapılmış farklı gürültü çalışmaları incelenmiştir. Bu bölümde de dünyanın diğer yerlerinde havaalanlarındaki gürültü kontrolüyle ilgili ne gibi çalışmalar yapıldığına dair birkaç örnekten bahsedilmektedir.

##### 4.4.1 Imam Khoemini Havalimanı, İran

Imam Khomeini Uluslar arası Havalimanı (IKIA), Robot-Karim ve Eslamshahr bölgelerine yakın Amhedabad şehrinin yaklaşık 30km güney batısında yer almaktadır. Tahran'ın batısında bulunan, Mehrabad Uluslar arası Havalimanı'nın yerini almak için tasarlanmıştır. Havalimanı, Tahran'a bir omurga ile bağlıdır, kuzey ve güneyde ayrılmış iki bölümden oluşmaktadır ve toplam arazisi 13500 Ha'dır. Mevcut durumda, havalimanının yalnızca kuzey bölümü gelişmiştir. Havalimanı çevresindeki büyük geniş alanlar önemli bir gelişme potansiyeline sahiptir ve İran'ın ana prestijli geçidi haline gelmektedir (Sadr ve diğ., 2013). Havalimanı içerisinde kullanıma açık olan pist 4198m uzunluğundaki 11L/29R pistidir (URL, 8).

Çalışma kapsamında IKIA gürültü sorunları ele alınmıştır. Çizelge 4.30'da gürültüye maruz kalma konturları, üç zaman dilimi için gösterilmiştir. Buna dayanılarak belirlenen üç senaryo havalimanını çevreleyen yerleşim yerlerinin ve gelecekteki havalimanı şehrinin gürültü etkisini belirlemek üzere oluşturulmuştur. Her bir senaryo için farklı pist düzeni kullanan Sadr ve diğ (2013), senaryo 1 için doğu/batı odaklı tek bir pist üzerindeki uçuş işlemlerini uygularken, senaryo 2'de paralel pist inşa edilmesini planlamışlardır. Ayrıca senaryo 3 için de orta saha terminali ile yakın aralıklı paralel pist oluşturulmuştur ki bu da havalimanının uzun vadeli gelişimini sunmaktadır. Senaryolar oluşturulduktan sonra modelleme için INM yazılımı kullanılmıştır.

**Çizelge 4.30 : Üç senaryonun karakteristikleri (Sadr ve diğ., 2013).**

Senaryo 1 (2011 yılı)			Senaryo 2 (2020)			Senaryo 3 (2030)		
Pist	Yıllık yolcu trafiği	Ortalama günlük uçak hareketi	Pist	Yıllık yolcu trafiği	Ortalama günlük uçak hareketi	Pist	Yıllık yolcu trafiği	Ortalama günlük uçak hareketi
11/29	12 Mpax	290 hareket	11L/29R	27 Mpax	580 hareket	11L/29R	92Mpax	1705 hareket
			11R/29L			11R/29L		
						12L/30R		
						12R/30L		

Çalışma sürecinde, her üç senaryo için; gün/pist/uçuş yolu başına düşen hava trafiği, gündüz/akşam/gece için günlük saat/pist/uçuş yolları başına uçak tiplerinin dağılımı, günlük uçak operasyonları (Çizelge 4.31) ve uçak kodları (Çizelge 4.32), pist kullanımı, uçak filosu (Filo, uçak kalkınma planında orta vadeli ve uzun vadeli hava trafik tahminlerine göre hazırlanmıştır) parametreleri analiz edilmiştir. Pist, uçak türleri ve her bir senaryo için zaman dilimi başına düşen operasyon sayısı, INM tarafından belirlenen uçak hareketlerinin yüzdesi ile gün ve pist başına düşen operasyonların sayısı çarpılarak hesaplanmıştır.



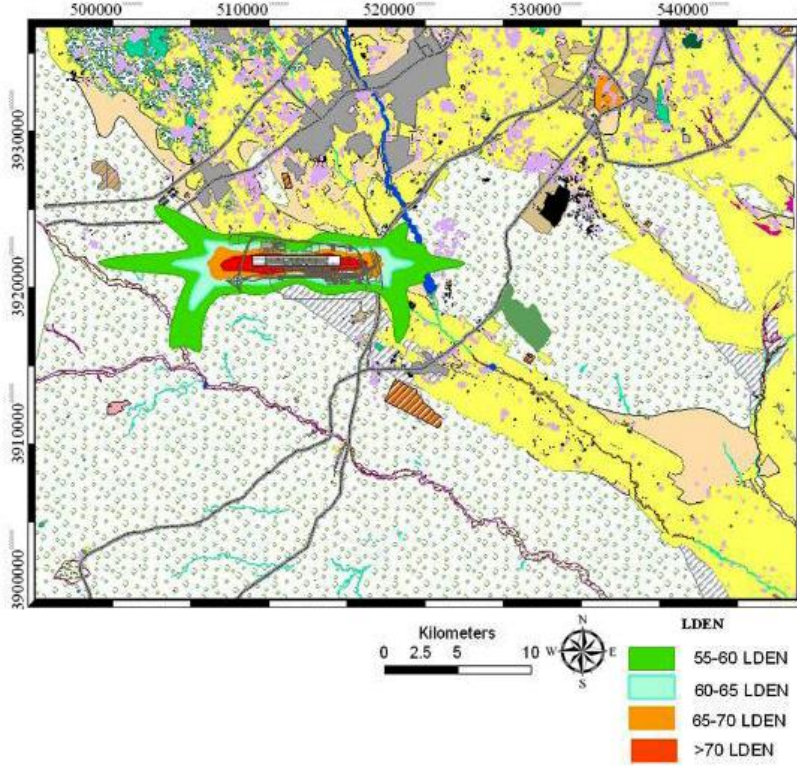
**Çizelge 4.31 : Günlük periyot başına uçak operasyonlarının yüzdesi (Sadr ve diğ., 2013).**

<b>Zaman periyodu</b>	<b>Senaryo 1</b>	<b>Senaryo 2</b>	<b>Senaryo 3</b>
Gündüz	%70	%71	%72.5
Akşam	%14	%15	%15
Gece	%17	%14	%12.5

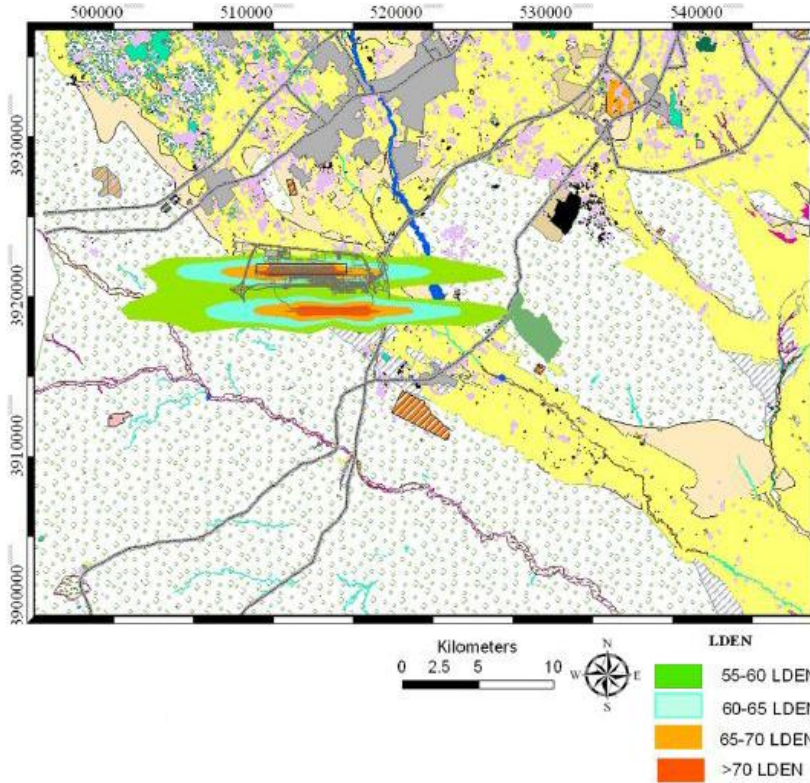
**Çizelge 4.32 : Her bir ICAO kodu için operasyon yüzdesi (Sadr ve diğ., 2013).**

<b>ICAO kodu</b>	<b>Senaryo 1</b>	<b>Senaryo 2</b>	<b>Senaryo 3</b>
A	%0	%0	%0
B	%0	%0	%0
C	%59	%68	%69
D	%36	%18	%0
E	%5	%14	%29
F	%0	%0	%2

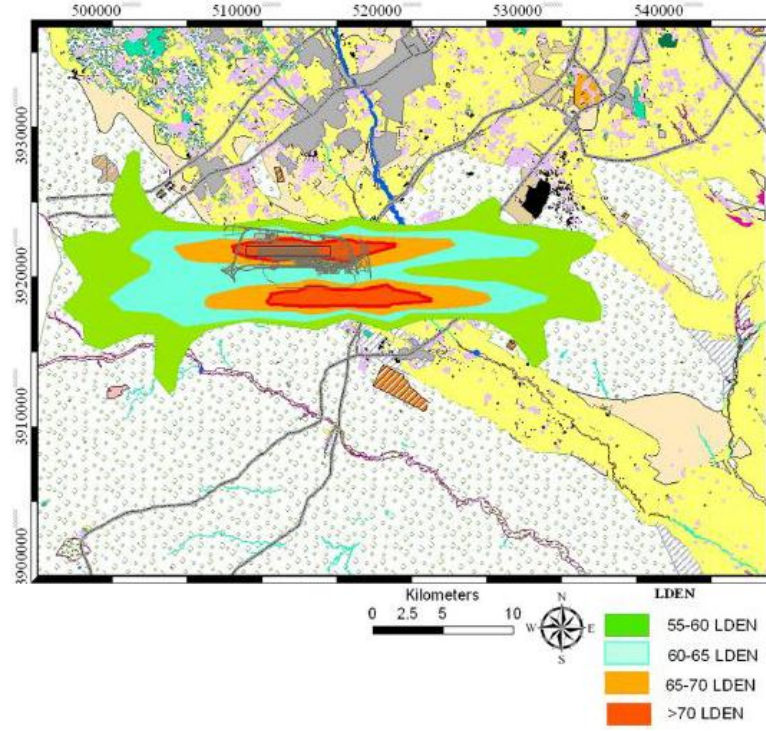
Tüm senaryolar için INM sonuçları Stratejik Gürültü Haritalarında (SNM) verilmiştir. Her bir senaryo için alınan sonuçlar Şekil 4.47, 4.48 ve 4.49'da gösterilmiştir. Lden 55, 60, 65 ve 70 seviyeleri için çizilen gürültü konturlarını haritalarda görebiliriz. Üç farklı senaryo için Lden ve Leq başına konturların dağılımını ise Şekil 4.50, 4.51 ve 4.52'de görmekteyiz. IKIA çevresindeki arazi kullanım yönetimi, mevcut ve gelecekteki çevrenin yanı sıra havalimanının gelişmesi için yeterli esneklik sağlayan çakışmaları önlemeyi esas almıştır.



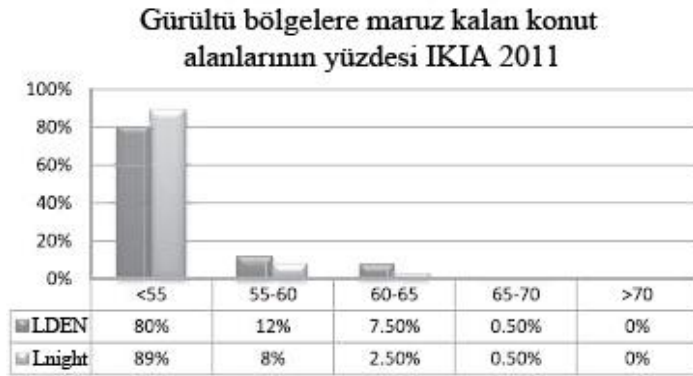
Şekil 4.47 : 2011 yılı için IKIA L<sub>den</sub> konturları (Sadr ve diğ., 2013)



Şekil 4.48 : 2020 yılı için IKIA L<sub>den</sub> konturları (Sadr ve diğ., 2013)



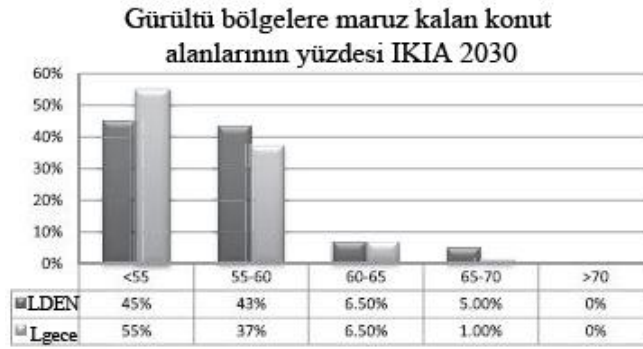
Şekil 4.49 : 2030 yılı için IKIA L<sub>den</sub> konturları (Sadr ve diğ., 2013)



Şekil 4.50 : 2012 senaryosu için (L<sub>den</sub> ve L<sub>Aeq,akşam</sub>)konut dağılımı (Sadr ve diğ., 2013)



Şekil 4.51 : 2020 senaryosu için (L<sub>den</sub> ve L<sub>Aeq,akşam</sub>) konut dağılımı (Sadr ve diğ., 2013)



**Şekil 4.52** : 2030 senaryosu için ( $L_{den}$  ve  $L_{Aeq,akşam}$ ) konut dağılımı (Sadr ve diğ., 2013)

#### 4.4.2 Viracopos Uluslararası Havalimanı, Brezilya

Infraero ve Konsorsiyum Aeroportos Brezilya (özel şirketler grubu) tarafından işletilen Viracopos Uluslararası Havalimanı (HAP), Campinas, Campinas-UNICAMP Üniversitesi ve çeşitli ileri teknoloji şirketleri etrafında Brezilya'daki en önemli teknoloji büyüme kutuplarından birinde yer almaktadır. Çizelge 4.33'te havalimanına ait bazı ayrıntılar yer almaktadır (Bentes ve diğ., 2012). Havalimanı içerisinde 14/32 olarak adlandırılan 3240m uzunluğunda tek bir pist bulunmaktadır (URL, 9).

Çalışma için bu havalimanının seçilmesinin sebebi gün geçtikçe artan yolcu ve operasyon sayılarıdır. Bu çalışmada, INM yazılım programı ve coğrafi bilgi sistemleri kullanılarak Brezilya Viracopos Havalimanı'nda gürültüden rahatsız olan popülasyonların miktarına odaklanılmıştır. DNL metrik gürültü eğrilerini oluşturmak için; INM yazılım verilerinin kullanılarak, rotalar, kalkış ve iniş prosedürleri toplanmış ve uçak gürültüsünden rahatsız olan insan yüzdesini tahmin etmek için denklem 4.9 kullanılmıştır.

$$\%HAP = 0.8533DNL - 0.0401DNL^2 + 0.00047DNL^3$$

$$\%HAP = 78.9181 - 3.2645DNL + 0.0360DNL^2$$

$$\%HAP = -1.395 * 10^{-4}(DNL - 42)^3 + 4.081 * 10^{-2}(DNL - 42)^2 + 0.342(DNL - 42) \quad (4.9)$$

Başlangıçta, katmanlar INM'den alınmış ve gürültü eğrileri oluşturularak TransCAD'e aktarılmıştır. GIS kullanılarak, her türlü gürültü eğrisi içinde insan sayısını ölçmek mümkün olmuştur. Nüfus sayımı bilgileri kullanılarak gürültü eğrileri ile her gürültü eğrisinin insan sayısının hesaplanmasını sağlayan sayım

katmanları üzerine bindirilmiştir. Denklem 4.10, 55-60 dBA arasında gürültüden rahatsız olan insan sayısı hesaplamasını göstermektedir.

$$HAP_{55-60} = (\%HAP_{55} * IP_{55} - \%HAP_{60} * IP_{60}) \quad (4.10)$$

Şekil 4.53'te hesaplanan gürültü konturları gösterilmiştir. 55 dBA konturu Campinas, Valinhose ve Indaiatuba'yı kapsarken, diğer konturlar yalnızca Campinas'ı içine almaktadır. GIS kullanılarak, üst üste binen katmanlar tarafından farklı aralıklarla ölçülen HAP değerleri Çizelge 4.34'te verilmektedir. Bir grup için gürültü ile ilgili HAP sayısı, DNL'in bir fonksiyonu olarak hesaplanıp nüfus içindeki yüzdesinin belirlenmesinin yanında aynı zamanda TransCAD kullanılarak gürültü konturlarının içinde kalan insan sayısına da bağlıdır. Şekil 4.54, hesaplanan değerleri göstermektedir. Şekilde, 60-65 dBA aralığı için HAP bağıl sayısının her 3 hesaplama yöntemi için aynı değere yakınsandığı görülmektedir. Gürültü seviyeleri son aralıklarda daha yüksek olmasına rağmen, okul, hastane ve konutlar üzerindeki gürültü kontrolleri için Brezilya Sivil Havacılık Yönetmeliği 161'in getirdiği kısıtlamalar ile gürültü maruziyeti daha düşüktür. 55-60 dBA aralığındaki HAP bağıl sayısı Schultz modeli kullanılarak bulunmuştur ve diğerlerine göre daha düşüktür. Bu durum gece uçuşları üzerindeki kısıtlamaların sonucudur: gece uçuş kısıtlamaları ve yasağı, gece kotaları ve gürültü ücretleri (Bentes ve diğ., 2012).

**Çizelge 4.33** : Viracopos Uluslararası Havalimanı lojistik verisi (Bentles ve diğ., 2012).

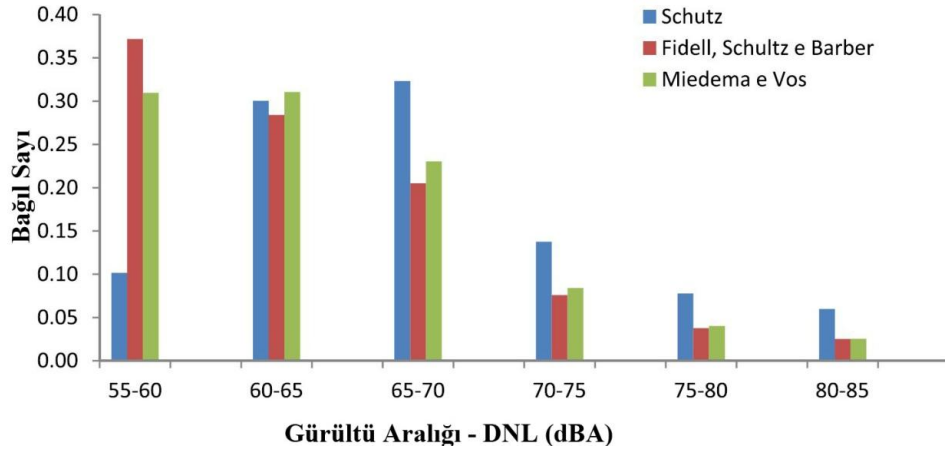
Havalimanı alanı	17,659,300 m <sup>2</sup>
Uçak alanı	86,978 m <sup>2</sup>
Pist ölçüleri	3240 x 45 m
Yolcu kapasitesi (yıllık)	6.8 milyon
Terminal yolcu alanı	30,000 m <sup>2</sup>
Park alanı (araç sayısı)	2010 alan
Check-in kortu sayısı	72
Gelen/giden kargo için lojistik terminal alanı	81,000 m <sup>2</sup>
Uçak park pozisyonları	41 pozisyon

**Çizelge 4.34** : Farklı gürültü aralıklarından rahatsız olan insanlar (Bentles ve diğ., 2012).

Grup	DNL (dBA)	Hesaplanan alan (km <sup>2</sup> )	Belirlenen popülasyon	HAP aralığı		
				Schultz	Fidell ve diğ.	Miedema ve Vos
1	55-60	24,075	30,919	204	1615	1794
2	60-65	10,032	13,617	603	1233	1799
3	65-70	4182	5677	649	890	1335
4	70-75	1656	1501	276	330	487
5	75-80	0.38	520	156	164	233
6	80-85	0.16	228	120	110	147



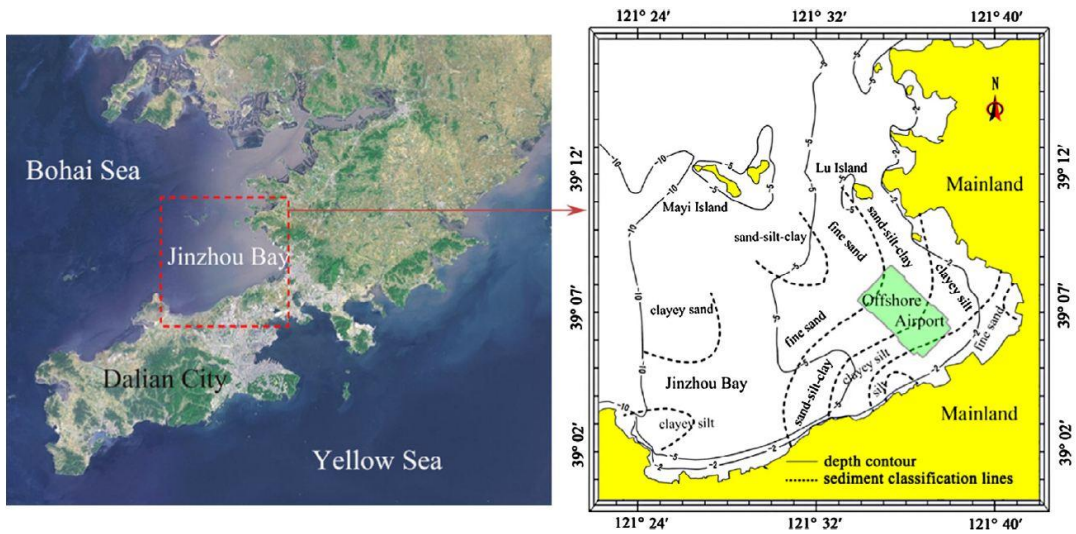
**Şekil 4.53** : Viracopos Uluslararası Havalimanı gürültü eğrileri (Bentles ve diğ., 2012)



Şekil 4.54 : Gürültüden rahatsız olan insanların gürültü aralıkları (Bentlers ve diğ., 2012)

#### 4.4.3 Dalian Havalimanı, Çin

Dalyan, Şekil 4.55'te gösterildiği gibi Çin'in kuzeydoğusunda Bohai ve Yellow Seas'in kesiştiği noktada yer alan bir sahil şerididir. Şehir merkezinin 9,5km uzağında bulunan Dalyan Havalimanı (DIA), 1929 yılında inşa edilmiş olup 285 hektarlık bir alana yayılmıştır. Havalimanı içerisinde 3300m uzunluğunda tek bir pist bulunmaktadır. Havalimanında operasyon gerçekleştiren uçak tipleri; EMB145, B373, B747, B767, B777, A310, A320, A340 ve helikopterlerdir. Haftalık operasyon sayısı ortalama olarak 1168 civarındadır. Havalimanındaki uçak hareketleri ve yolcu sayısında 2011 yılı verilerine göre %9,7 ve %14,4 oranında artış gözlenirken, gelişim planına göre 2020 yılında yolcu sayısının 21 milyonu aşacağı söylenmiştir (Çizelge 4.35). Bu da genişleme gereğini ortaya koymuştur.



Şekil 4.55 : Açık deniz havalimanı şematik diyagramı (Yan ve diğ., 2013)

**Çizelge 4.35 :** Dalian Uluslararası Havalimanı yıllık uçuş ve yolcu sayısı (Yan ve diğ., 2013).

Yıl	Yolcu sayısı (milyon)	Uçuş sayısı (1000)
2000	2.75	34
2005	5.40	50
2010	10.70	91
2011	12.05	94
2015	16.00	133
2020	21.00	167

Yapılan anket sonuçları, havalimanı çevresinde doğu-batı yönünde 8km ve kuzey yönünde 2km olmak üzere yaklaşık 16km<sup>2</sup>lik bir alan içerisinde 110bin konut ve 12 gürültüye hassas nokta olduğunu göstermiştir. Gürültüyü engellemek için; daha sessiz uçaklar kullanılmış, 00.00-06.00 saatleri arasında uçuş yasağı getirilmiş ve uçuş rotaları gürültüye göre belirlenmiştir. Pist çevresinde bulunan yerel binalarda ses yalıtımı yapılmış, akustik koruyucu duvarlar kullanılmıştır.

Çin'de pek çok uçak gürültüsü 'algılanan gürültü seviyesi (PNL)' veya 'A ağırlıklı ses düzeyi' olarak göz önüne alınır ancak 1988 yılından beri uçak gürültü yoğunluğunu ifade etmek için ana parametre olarak ICAO tarafından tavsiye edilen 'ağırlıklı eşdeğer sürekli algılanan gürültü seviyesi (WECPNL)' kabul edilmiştir. Bu bağlamda, 24 saatlik gündüz, akşam ve gece gürültü hassasiyeti için aşağıdaki denklem kullanılmıştır.

$$L_{WECPN} = \overline{L_{EPN}} + 10 \log(N_1 + 3N_2 + 10N_3) - 39,4 \quad (4.11)$$

Bu denklemde;  $N_1$  gündüz (07.00-19.00) periyodundaki operasyon sayısını temsil ederken,  $N_2$  akşam (19.00-22.00) ve  $N_3$  gece (22.00-07.00) periyodundaki operasyon sayılarını temsil etmektedir.  $\overline{L_{EPN}}$ ; uçağın monitör noktasını geçtiği andaki ortalama algılanan gürültü seviyesini göstermektedir ve aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır:

$$\overline{L_{EPN}} = 10 \log\left[1/(N_1 + N_2 + N_3) \sum_i \sum_j 10^{L_{EPNij}/10}\right] \quad (4.12)$$



Çalışma kapsamında, DIA gürültü modellemesi için INM yazılımı kullanılmıştır. Çalışma alanı ve yerleşme alanı çevresinde 12 nokta seçilmiş ve bu noktalar Şekil 4.56'da gösterilmiştir. Ölçümler yerden yaklaşık olarak 1,5m yükseklikte yapılmıştır ve arka plan gürültüsü ihmal edilmiştir. Hesaplama ve ölçülen değerler arasındaki karşılaştırmalar, Çizelge 4.36'da gösterilmiştir. Bu tablo, DIA çevresindeki hesaplanan ve ölçülen uçak gürültü düzeyleri arasında iyi bir uyum olduğunu göstermektedir. 12 nokta üzerindeki ölçüm ve hesaplamalar arasındaki farklarda en fazla 3dB'lik bir oynama olduğu görülmüştür. Nispeten büyük bir fark N7'de 4,8 dB'dir ve bunun muhtemel sebebinin yakındaki yapıda meydana gelen akustik yansımaların olduğu tahmin edilmiştir.

**Çizelge 4.36 :** 2008 yılının uçak gürültü düzeyini çevreleyen DIA doğrulaması (Yan ve diğ., 2013).

No.	Ölçüm		Hesaplama		$\Delta$ WECPNL (dB)
	LA <sub>max</sub>	Td (s)	WECPNL (dB)	WECPNL (dB)	
N1	63.4-84.2	1.0-27.4	68.2	68.0	0.2
N2	59.4-88.5	1.0-34.3	66.0	68.0	-0.2
N3	70.8-98.0	9.2-28.1	79.3	78.5	0.8
N4	80.4-93.4	12.5-20.8	79.4	79.0	0.4
N5	78.6-91.6	5.8-13.5	79.6	81.4	-1.8
N6	79.2-96.4	3.2-10.6	81.6	79.5	2.1
N7	72.0-83.2	6.6-19.6	74.0	69.2	4.8
N8	68.8-95.2	6.8-23.7	78.5	77.8	0.7
N9	88.0-99.4	2.6-4.7	85.2	82.6	2.6
N10	73.6-92.0	6.2-17.2	76.8	78.0	-1.2
N11	68.4-82.8	3.7-15.6	70.2	68.2	2.0
N12	58.7-71.6	2.5-22.5	61.2	61.9	-0.7



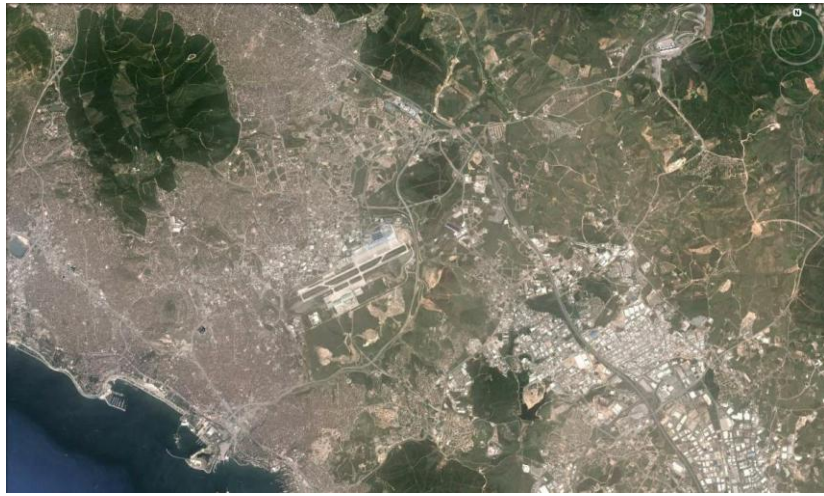
Şekil 4.56 : Gürültü monitör pozisyonları (Yan ve diğ., 2013)

## 5. SABIHA GÖKÇEN ULUSLARARASI HAVALİMANI'NIN GÜRÜLTÜ HARİTALARININ HAZIRLANMASI

Yapılan çalışma kapsamında, havalimanı ve kalkış yapan uçak gürültüsü haritalandırılması İstanbul Sabiha Gökçen Havalimanı örneği üzerinden incelenmiştir.

### 5.1 Çalışmanın Yapılan Alan

Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı, İstanbul'un Pendik ilçesi sınırları içerisinde inşa edilmiştir. İstanbul'un 2.büyük havalimanı olan Sabiha Gökçen, Türkiye'deki havalimanı istatistiklerine göre de toplam yolcu trafiği bakımından üçüncü büyük havalimanıdır. Kadıköy'e 35km, Taksim'e 40km ve İzmit şehir merkezine 69km uzaklıktadır. Havalimanının inşası 1998 yılında başlamış olup Ocak 2001 tarihinde kullanıma açılmıştır. Havalimanı koordinatları 40°53'54" Kuzey ve 29°18'33" Doğu olup rakımı 95m (312ft)'dir. Şekil 5.1'de Havalimanının konumu gösterilmiştir. Şekil 5.2'den de görüldüğü gibi Havalimanında bulunan apron tasarımı 'düz (linear)' olarak adlandırılan tiptir.Düz (linear) tip apron düzeninde, terminal binası içerisindeki bilet ve yolcu işlemleri için daha fazla alandan yararlanılmaktadır.



**Şekil 5.1 :** Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı uydu fotoğrafı (Google Earth, 2014)



**Şekil 5.2 :** Düz (linear) tip apron (Google Earth, 2014)

Bölge, yoğun yerleşim alanlarını barındırmasının yanında aynı zamanda ticari yapıları da içermektedir. Havalimanı'nın kuzeyinde çoğunluk olarak ticari yapılar ile fabrikalar bulunurken, doğuda ticari yapı ve fabrikalara ek olarak konut bölgeleri de bulunmaktadır. Bunun yanında batı ve güneyde ise çoğunlukla boş araziler olduğu göze çarparken yer yer küçük konut bölgeleri ve özellikle batıda bazı fabrika alanlarına da rastlanmaktadır. Bölgede bulunan boş arazilerin yoğunluğu ve gün geçtikçe artan yapılaşma göz önüne alındığında, bu durum gürültü kaynaklarının kontrolünü de beraberinde getirmektedir. Bölgede havalimanı gürültüsünün etkisi incelenmesi gereken bir durumdur. Havalimanı bünyesinde bulunan tek pist 06/24 olarak adlandırılan pisttir ve uzunluğu 3000m (9.842ft)'dir. Pist 06/24 konumu Şekil 5.3'te verilmiştir. 2015 yılına kadar yapılması planlanan ikinci bir pist mevcut piste paralel olarak düşünülmektedir ve uzunluğunun 3500m (11.482ft) ve genişliğinin 60m olması düşünülmektedir. Aynı zamanda bu pistin Türkiye Cumhuriyeti ve çevre ülkeler içerisinde Airbus 380 uçağının inebileceği tek pist olacağı tahmin edilmektedir. Havalimanında gerçekleşen uçuş operasyonları, Türkiye içerisinde Antalya, İzmir, Ankara, Diyarbakır, Elazığ, Erzurum, Bodrum gibi pek çok şehre olduğu gibi; Prag, Almanya, Fransa, İtalya, İran, Mısır gibi pek çok ülke arasında da gerçekleşmektedir.



**Şekil 5.3 :** Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı pist 06/24 (Google Earth, 2014)

## 5.2 Metodoloji

Çalışma metodolojisi kapsamında, ilk olarak haritalama yapılacak olan alan belirlenmiştir. Rota, uçak, pist ve operasyon sayıları göz önüne alınarak gürültüden etkilenecek alanı belirlemek için ön çalışmalar yapılmış ve İstanbul Anadolu Yakası'nın Pendik ve Tuzla ilçeleri ile Kocaeli ilinin küçük bir bölümünün gürültü etkisi altında kaldığı gözlemlenmiştir. Haritalama alanında yalnızca İstanbul il sınırları içerisinde kalan bölgeler alınmıştır.

Pendik ve Tuzla ilçeleri 1/1000 ölçekli ilçe haritaları İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nden dijital olarak temin edilmiş ve Autocad programı kullanılarak üzerlerinde gerekli düzenlemeler yapılmıştır.

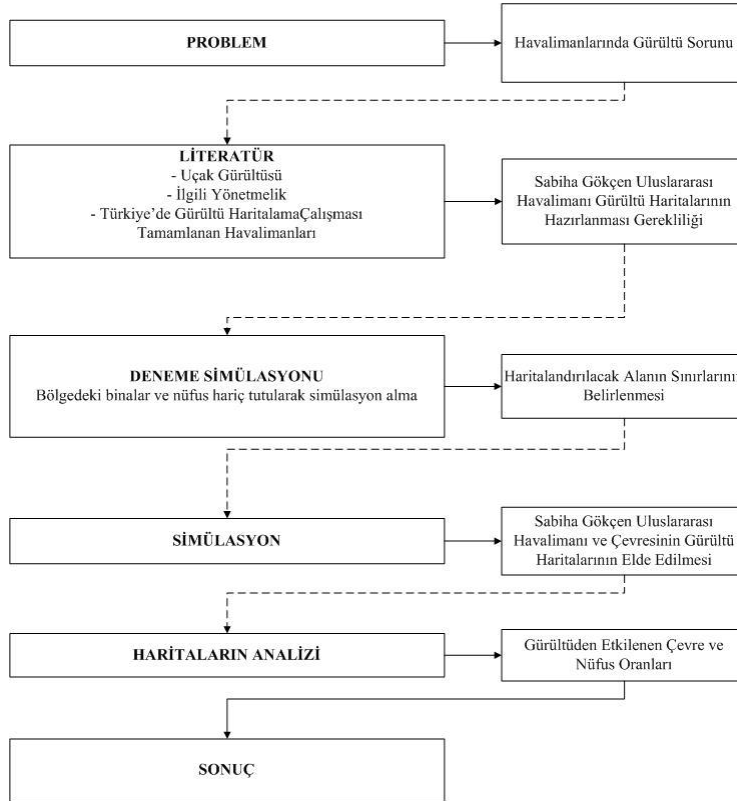
Çevre ve Orman Bakanlığı (2010)'nın hazırladığı Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği kılavuz alınarak, SoundPlan 6.5 gürültü haritalama yazılımı kullanılmıştır. Programda öncelikli olarak ECAC.CEAC Doc 29 yönetmeliği seçilmiş ve Lden değerlendirme yöntemine göre çalışma başlatılmıştır. Autocad programı kullanılarak düzenlenen arazi yükseklikleri, kullanım amaçlarına göre bina tipleri ve yükseklikleri DXF dosyası olarak SoundPlan programına aktarılmıştır. Daha sonra aktarılan arazi yükseklikleri kullanılarak sayısal zemin modeli (SZM) oluşturulmuştur. Autocad programından aktarılan bina tipleri

özelliklerine göre sınıflandırılmış ve kat yükseklikleri girilerek bina yükseklikleri hesaplanmıştır. Sonuçta 3 boyutlu sayısal bir model elde edilmiştir. Oluşturulan modelde binalara nüfus verileri atanmış, gürültüye maruz kalan nüfus sayısı ve maruz kaldıkları gürültü seviyeleri belirlenmiştir.

Zeminden 4m yükseklikte Lden cinsinden kalkış yapan uçaklar için hesaplanan gürültü değerleri 55-59, 60-64, 65-69, 70-74, 75-79 ve >80 dB olarak elde edilmiş ve 50m aralıklı ızgaralı gürültü haritaları oluşturulmuştur.

Havalimanı çevresindeki ideal bina yüksekliklerini tespit etmek için gerekli cephe çalışmaları da yapılmış ancak istenen sonuçlara ulaşılamamıştır. Gelecek dönemlerde bu konu ile ilgili daha detaylı çalışmalar gerçekleştirilecektir.

Metodoloji için izlenen adımlar aşağıdaki Şekil 5.4'te adım adım gösterilmiştir.



**Şekil 5.4 :** Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı gürültü haritalama çalışma metodolojisi

### 5.3 Veri Toplama Süreci

Gürültü haritalamada en önemli adım veri toplama sürecidir (Aşçıgil,2009). Toplanan verilerin eksiksiz ve kullanıma uygun olması hesaplama sürecini kolaylaştırmaktadır.

Araziyi oluşturmak için İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nden alınan bölge haritalarındaki yükseklik verileri kullanılmıştır. NetCad programı içerisinde çizilen haritalar AutoCad'e atıldığında bazı sorunlar çıkartabilmektedir. SoundPlan'e arazi noktaları girerken yükseklik verilerinin belirli bir formatta olması gerektiği için alınan haritalar kontrol edilmiş, her hangi bir sorun olmadığı gözlemlendikten sonra programa atabilmek için DXF formatına getirilmiştir.

Haritalandırılacak bölgede bulunan bina konumları ve yükseklikleri belediyeden alınan harita içerisinde hazır olarak gelmiştir. Ancak pek çok binanın üzerinde birden fazla kat sayısı yazdığı tespit edilmiştir. Bunun sebebinin binalarda bulunan teras vb. sebepler olduğu anlaşıldıktan sonra, bina kat sayıları tespit edilerek doğru rakamlar tek tek her bir bina için düzenlenmiştir. Bina yüksekliklerinde, kat yüksekliği mesken olarak kullanılan yapılar ve okul binaları için 2,80m alınırken yardımcı bina olarak belirlenen ticari, fabrika vb. yapılar için ortalama 4,00m alınmıştır. Bina kullanım amaçları İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nden alınan AutoCad dosyalarında belirtilmiş ve kontrolleri yapıldıktan sonra DXF formatına getirilerek simülasyon programına aktarılmıştır.

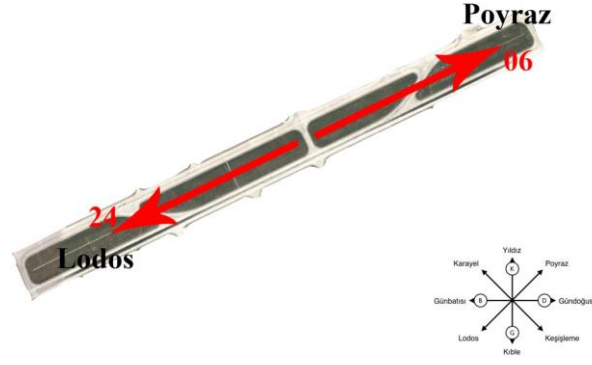
Bölgede bulunan konut binalarına nüfus ataması yapılması gerektiği için öncelikli olarak ilçe belediyeleri ile iletişime geçilmiş ve güncel nüfus bilgileri elde edilmiştir. Simülasyon programı girilen nüfus bilgilerini otomatik olarak konut yapılarına aktarmıştır.

Sabiha Gökçen Havalimanı yıllık kalkış yapan uçak verileri Havalimanı İşletme ve Havacılık Endüstrileri A.Ş. (HEAŞ)'den elde edilmiştir. Veriler 2012 yılı, yurt içi ve yurt dışı operasyonlarının tarih ve saat ile uçak modeli bilgilerini içermektedir. Uçuş rota bilgileri, Türk Havacılık ve Uydu Sanayi A.Ş.(TAİ) tarafından temin edilmiştir. Pist kullanım yönünü belirlemek için en önemli etken şüphesiz ki rüzgar yönüdür. Rüzgar, havanın yüksek basınç noktasından alçak basınç noktasına hareketi ile oluşur. Bir bölgede yıl içerisinde rüzgarın en fazla estiği yöne '*hakim rüzgar yönü*' denilmektedir. Bir bölgede hakim rüzgar yönü yer şekillerine göre ortaya çıkmaktadır. Bu noktada, İstanbul'daki hakim rüzgar yönü boğazın uzanış doğrultusu ile paralellik göstermektedir. Rüzgar frekans gülü aracılığı ile hakim rüzgar yönü hakkında bilgi edinilebilir. İstanbul'da yıl içerisinde hakim olan rüzgar yönü kuzey-doğu rüzgarı yani Poyraz'dır. Dönemsel olarak da güney-batı rüzgarı olan Lodos bölgeye hakim olmaktadır. Bu noktada Sabiha Gökçen Havalimanı pist konumu

incelendiğinde, 06/24 pisti için 06 (kuzey-doğu) pist yönünün Poyraz sırasında, 24 (güney-batı) pist yönünün ise Lodos meydana geldiğinde kullanıma açıldığını söylemek mümkündür. Çünkü uçak, rüzgarı karşısına alarak kalkış yapmaktadır. Sabiha Gökçen Havalimanı 06/24 pisti konumu ve rüzgar yönü gösterimi Şekil 5.5'te verilmiştir. Pistin 06 yönü için için *BIG-EKI 1W*, *MOPIN 1W*, *GAYEM 1W* ve *ERTAS 1W* rotaları hesaplama alanında kullanılmak üzere seçilmiştir. Bu rotaların seçilme sebebi, uçağın kalkış sonrası gürültüsünün yerleşim yerlerinde en çok etkili olabileceği rotalar olmasıdır. Uçağın en çok kalkış anında gürültü yarattığı bilindiği için, pist yakın çevresinde etkili olacak rotalar tespit edilmiştir ve rotaların durumu Şekil 5.7'de gösterilmiştir. Pistin 24 yönü için ise *BIG-EKI 1P*, *MOPIN 1F*, *GAYEM 1P* ve *ERTAS 1P* rotaları dikkate alınmıştır. Bu rotaların seçilme sebebi de yine uçağın kalkış anında yerleşim yerlerinde en çok gürültü ürettiği bölgeleri kapsayan rotalar olmasıdır ve rotaların konumu Şekil 5.8'de gösterilmiştir. Kalkış süreci için kule tarafından belirlenen zorunlu yükseklik değerleri pistin 06 yönünün kullanımında 11.265 km (7 mil)'de 426m (1400 feet) iken bu sınır pistin 24 yönü için 12.874km (8mil)'de 396m (1300 feet)'dir. Bunun anlamı, örneğin 06 yönünde kalkan bir uçağın kalkış sürecinde 11.265km'de minimum 426m yüksekliğe ulaşması gerekliliğidir. Bu durum her Havalimanında ve her pistte farklılık göstermektedir. Örneğin bir Havalimanının yakınında, uçuş rotası üzerinde yüksek bir bina bulunuyorsa bu kalkış sınır yüksekliği bina mesafesi doğrultusunda artabilir. Yükseklik sınırı uçağın tırmanma açısını da etkilemektedir. Airbus 320 ailesi gibi büyük uçakların tırmanma açıları, küçük uçaklara göre daha düşüktür. Bu durumda, uçak tipine göre kullanılacak pist kule tarafından belirlenmektedir.

Havalimanı içerisinde operasyon gerçekleştiren uçak tipleri, AzB standardına göre sınıflandırılmıştır. Uçak tiplerinin AzB standardında verilen uçak sınıflarıyla eşleşim tablosu Çizelge 5.1'de verilmiştir. Daha sonra farklı rota tipleri de kullanılarak her bir uçak için her bir rotada ayrı ayrı gürültü hesaplaması yapılmıştır. Yıllık toplam operasyon sayısı 10 ve daha az olan uçak tipleri ihmal edilmiştir. Yıllık operasyon sayıları gündüz (07.00-19.00), akşam (19.00-23.00) ve gece (23.00-07.00) olmak üzere üç grupta toplanmış ve ölçümler 365 gün için bu gruplar dahilinde yapılmıştır. Sabiha Gökçen Havalimanı 2012 yılı uçak kalkış bilgileri Çizelge 5.2'de sunulmuştur.

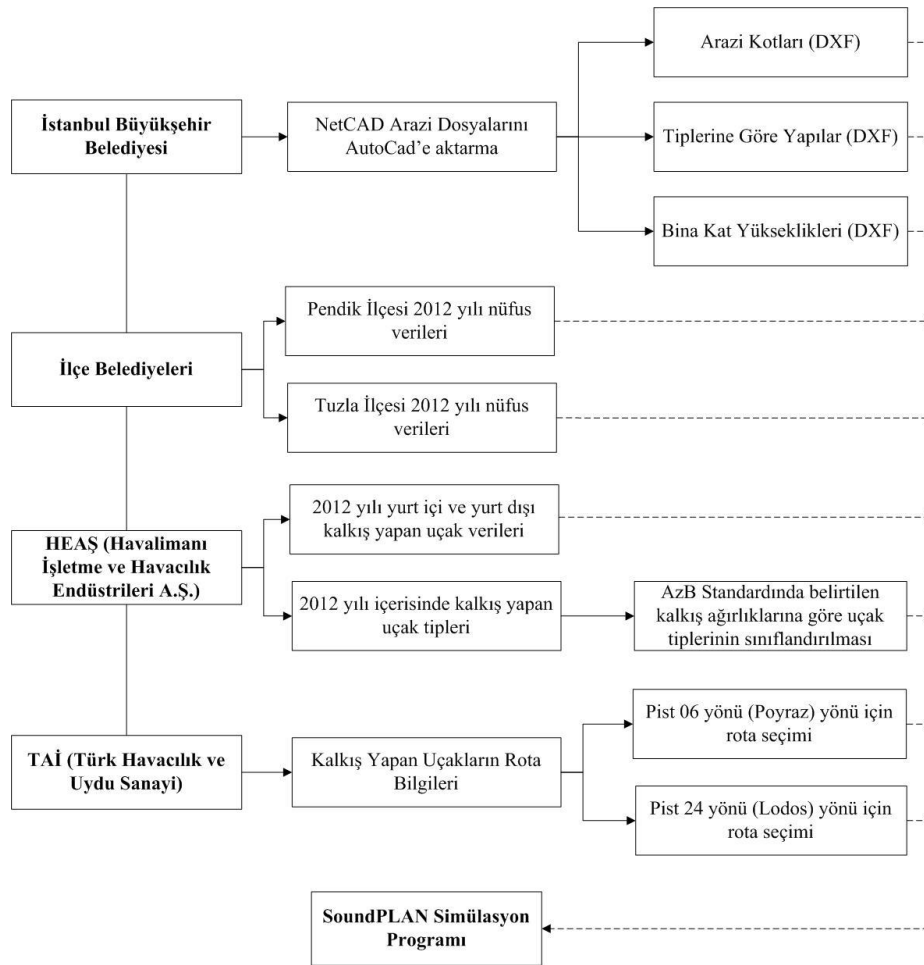




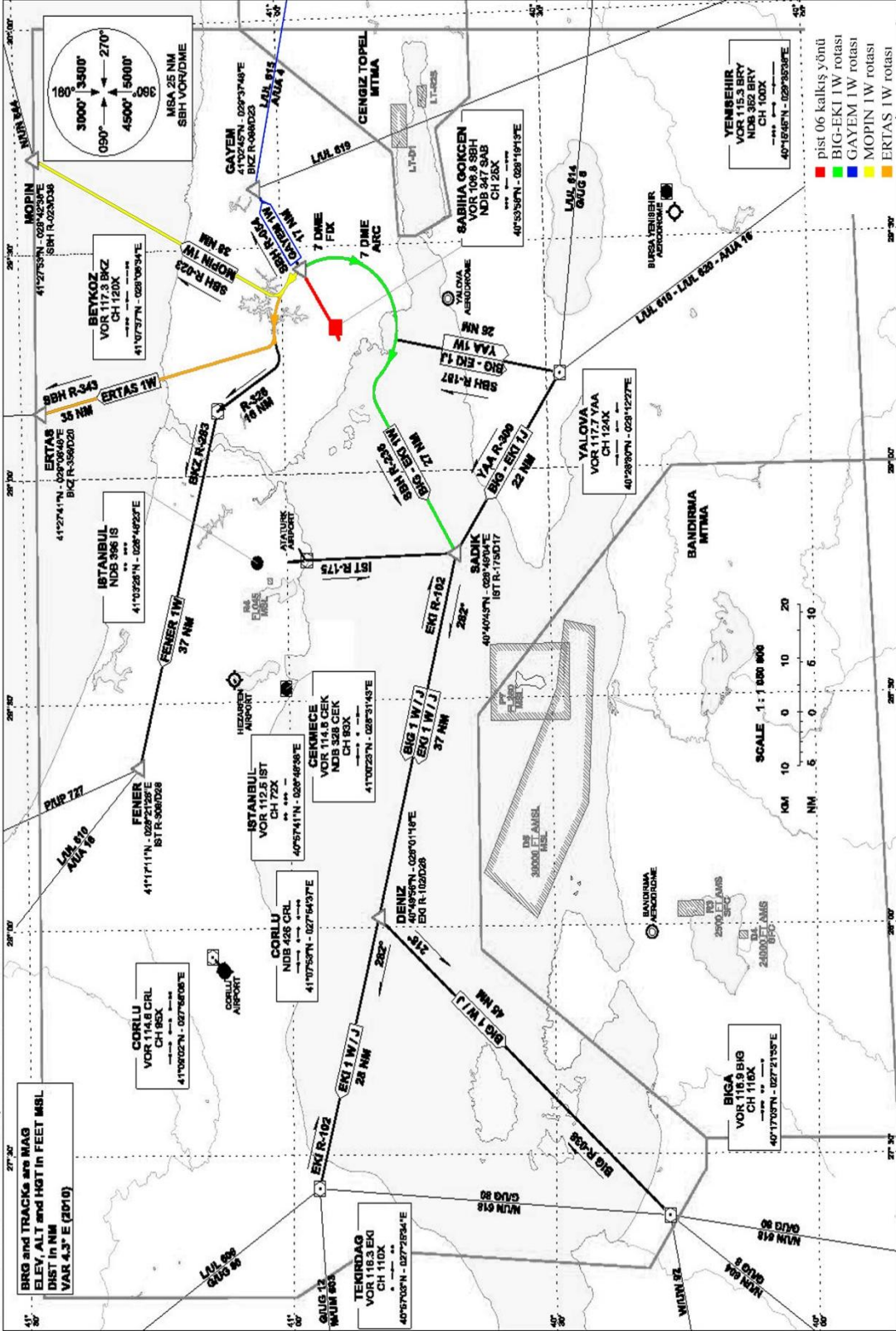
**Şekil 5.5 :** Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı pist konumu ve rüzgar yönleri

Meteorolojik koşullar için gündüz zaman diliminde %50, akşam zaman diliminde %75 ve gece zaman diliminde %100 yayılıma elverişli koşullar olduğu varsayılmıştır.

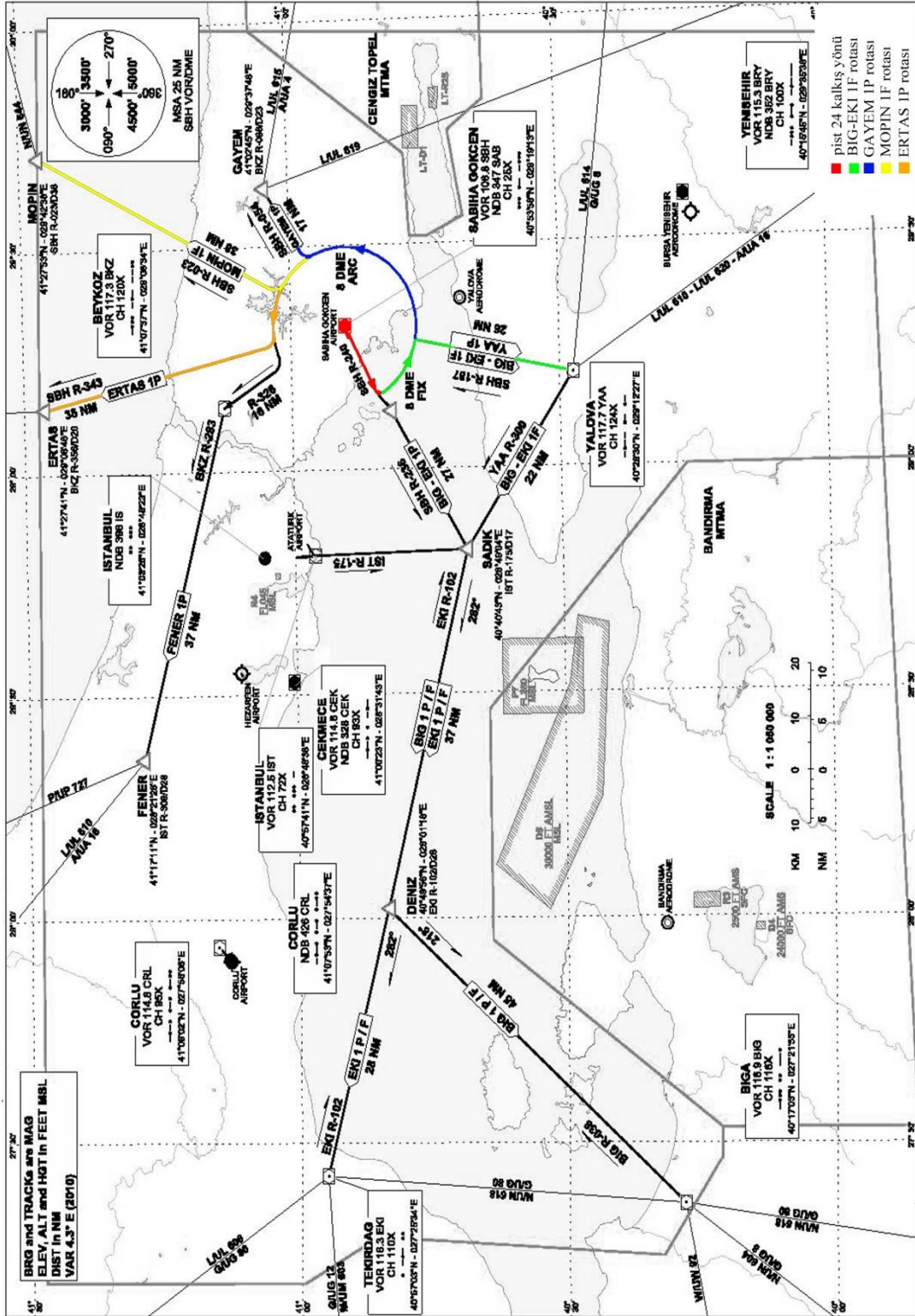
Veri toplama süreci özet diyagramı Şekil 5.6'da verilmiştir.



**Şekil 5.6 :** Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı gürültü haritalama çalışması veri toplama süreci



Şekil 5.7 : Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı pist 06 yönü 2012 yılı uçuş kalkış rotaları



Şekil 5.8 : Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı pist 24 yönü 2012 yılı kalkış rotaları

**Çizelge 5.1 : AzB standardında verilen gruplar ile uçak tiplerinin eşleştirilmesi.**

AzB Grup No.	Uçak Tipi	AzB Grup No.	Uçak Tipi	AzB Grup No.	Uçak Tipi
	AW39		CL60		AT72
	BEC		F100	P1.2	C206
	C560	S5.1	F2TH		C208
	C56X		H25B		TB21
	CL30		H25		C25B
S1.0	G150		H900	P1.4	C404
	F900		A320		F90
	FA7X		A319		PAY3
	E135		A321	P2.1	C160
	H125	S5.2	B733		CN35
	LJ35		B734		AN12
	LJ45		B738		B350
	LJ60		B735		BE40
	C650		MD83	P2.2	C510
	C680	S5.3	YK42		C550
	CL44		B739		DHC6
	CL64		A300		E55P
S1.1	CL65	S6.1	A310		BE20
	CNJ		A330		
	D400		A306		
	GL5T		B727		
	GLF4	S6.2	IL76		
	GLF5		A343		
S1.2	B737				

**Çizelge 5.2 : 2012 yılı Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı kalkış uçuş verileri.**

Uçak Tipi (AzB Grup No)	2012 Yılı Toplam Kalkış Yapan Uçak Sayısı		
	Gündüz	Akşam	Gece
S1.0	819	279	180
S1.1	599	181	116
S1.2	2107	1078	388
S5.1	763	262	123
S5.2	27196	11681	9374
S5.3	259	120	62
S6.1	677	174	255
S6.2	178	73	35
P1.2	585	156	149

**Çizelge 5.2 (Devam) : 2012 yılı Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı kalkış uçuş verileri**

Uçak Tipi (AzB Grup No)	2012 Yılı Toplam Kalkış Yapan Uçak Sayısı		
	Gündüz	Akşam	Gece
P1.4	65	24	16
P2.1	13	2	0
P2.2	264	114	60

#### 5.4 Haritalar

Stratejik gürültü haritalarının planlanmasında, Çevre ve Orman Bakanlığı'nın Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği kapsamında Ek 4 madde 7'de tanımlandığı şekliyle yerel veya ulusal uygulamalara yönelik Stratejik Gürültü Haritalarının 4m'lik bir değer tayin yüksekliğinde, karayolu, demiryolu ve hava trafiği ile endüstriyel tesisler, eğlence yerleri ve benzeri gibi kaynakların bulunduğu alanlarda bu kaynakların her birinden ayrı ayrı yayılan çevresel gürültü seviyesinin en fazla gürültüye maruz kalan cephelerde Lden (Lgag) cinsinden hesaplanmış 50-54, 55-59, 60-64, 65-69, 70-74 ve >75 dB değer aralıklarının her birine maruz kalan tahmini sakin sayılarının yüzlü ifadeler ile belirtilerek yapılması zorunludur. Çalışma sürecinde, çeşitli kaynaklardan elde edilen veriler kullanılarak 4m zemin yüksekliğinde 50m'lik aralıklarla ızgaralı gürültü haritaları hesaplanmıştır.

Şekil 5.9'da 50m aralıklarla 4m yükseklikte hesaplanan Sabiha Gökçen Havalimanı gürültü haritasının Lden (Lgag) konturları geniş bir çevreyi içine alacak şekilde gösterilmiştir. Böylelikle gürültüden etkilenen alan ile çevre algısı için daha kapsamlı bir bakış sunulmuştur.



Şekil 5.9 : Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı ve 2012 yılı kalkış L<sub>den</sub> gürültü konturları

50-85 dBA aralığında her 5 dB'de bir olacak şekilde hesaplanan Lden (Lgag), Ld (Lgündüz), Le (Lakşam) ve Ln (Lgece) değerleri ile gürültüden etkilenen konut sakini sayısı ile, konut, okul ve hastane sayıları Çizelge 5.3'te verilmiştir. Yönetmelikte belirtildiği şekilde konut sakini ve konut sayılarının yüzölçümü ifadelerine yuvarlanmış şekilleri de çizelgede yer almaktadır.

**Çizelge 5.3 : 2012 yılı ortalama gündüz, akşam ve gece zaman dilimleri için gürültüden etkilenen konut, nüfus, okul ve hastane sayıları.**

Zaman Aralığı	Gürültü (dBA)	Konut Sayısı		Etkilenen Nüfus		Okul	Hastane
Lden (Lgag)	50-55	3961	4000	24024	24000	8	0
	55-60	2265	2300	15244	15200	5	0
	60-65	1364	1400	12710	12700	7	0
	65-70	1119	1100	8789	8800	4	0
	70-75	517	500	3071	3000	3	0
	75-80	206	200	1062	1100	0	0
	80-85	120	100	524	500	0	0
	>85	100	100	455	500	0	0
Ld (Lgündüz)	50-55	2496	2500	16516	16500	6	0
	55-60	1567	1600	13722	13700	8	0
	60-65	1192	1200	9693	9700	4	0
	65-70	627	600	3906	3900	0	0
	70-75	237	200	1260	1300	1	0
	75-80	129	100	602	600	0	0
	80-85	123	100	526	500	0	0
	>85	8	0	29	0	0	0
Le (Lakşam)	50-55	2961	3000	19132	19100	5	0
	55-60	1775	1800	14449	14400	10	0
	60-65	1262	1300	10499	10500	4	0
	65-70	792	800	5287	5300	1	0
	70-75	298	300	1586	1600	1	0
	75-80	142	100	716	700	0	0
	80-85	105	100	421	400	0	0
	>85	44	0	212	200	0	0
Ln (Lgece)	50-55	1600	1600	13677	13700	0	0
	55-60	1160	1200	9695	9700	0	0
	60-65	755	800	5035	5000	0	0
	65-70	288	300	1598	1600	0	0
	70-75	142	100	667	700	0	0
	75-80	104	100	433	400	0	0
	80-85	33	0	156	200	0	0
	>85	0	0	0	0	0	0

Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği çerçevesinde, büyük havaalanları için günlük zaman dilimleri içerisindeki sınır değerlerinden

bölüm 3.1'de bahsedilmiştir. Buna göre gündüz, akşam ve gece zaman dilimleri içerisinde sınır değerlerini aşan konut, konut sakini, okul ve hastane sayıları Çizelge 5.4'te verilmiştir. Buna göre, 497 adet konut binası 68 dBA gündüz sınır değerini aşarken bu sayı konut nüfusu için 6323 olarak verilmiştir. Yine gündüz sınır değeri için okul ve hastane yapılarında istenen 65 dBA'yı aşan okul binası sayısı 1 iken bu sınırı aşan hastane yapısı olmadığı tespit edilmiştir. Yönetmelik kapsamında konut yapıları için belirtilen 63 dBA'lık sınır değerini aşan konut sayısı 1382 iken nüfus 8222'dir. Bunun yanında 1322 adet konut yapısı, 58 dBA olarak belirlenen gece sınır değerini aşmış ve nüfus da 7889 olarak belirlenmiştir. Yönetmelikte belirtildiği haliyle okul ve hastane yapılarında 60 dBA akşam sınır değeri ve 55 dBA gece sınır değerini aşan okul ve hastane yapısı bulunmadığı da çalışma sonucunda gözlemlenmiştir.

**Çizelge 5.4 :** Gündüz, akşam ve gece zaman dilimlerinde sınır değerlerini aşan konut, nüfus ve gürültüye hassas yapıların sayısı.

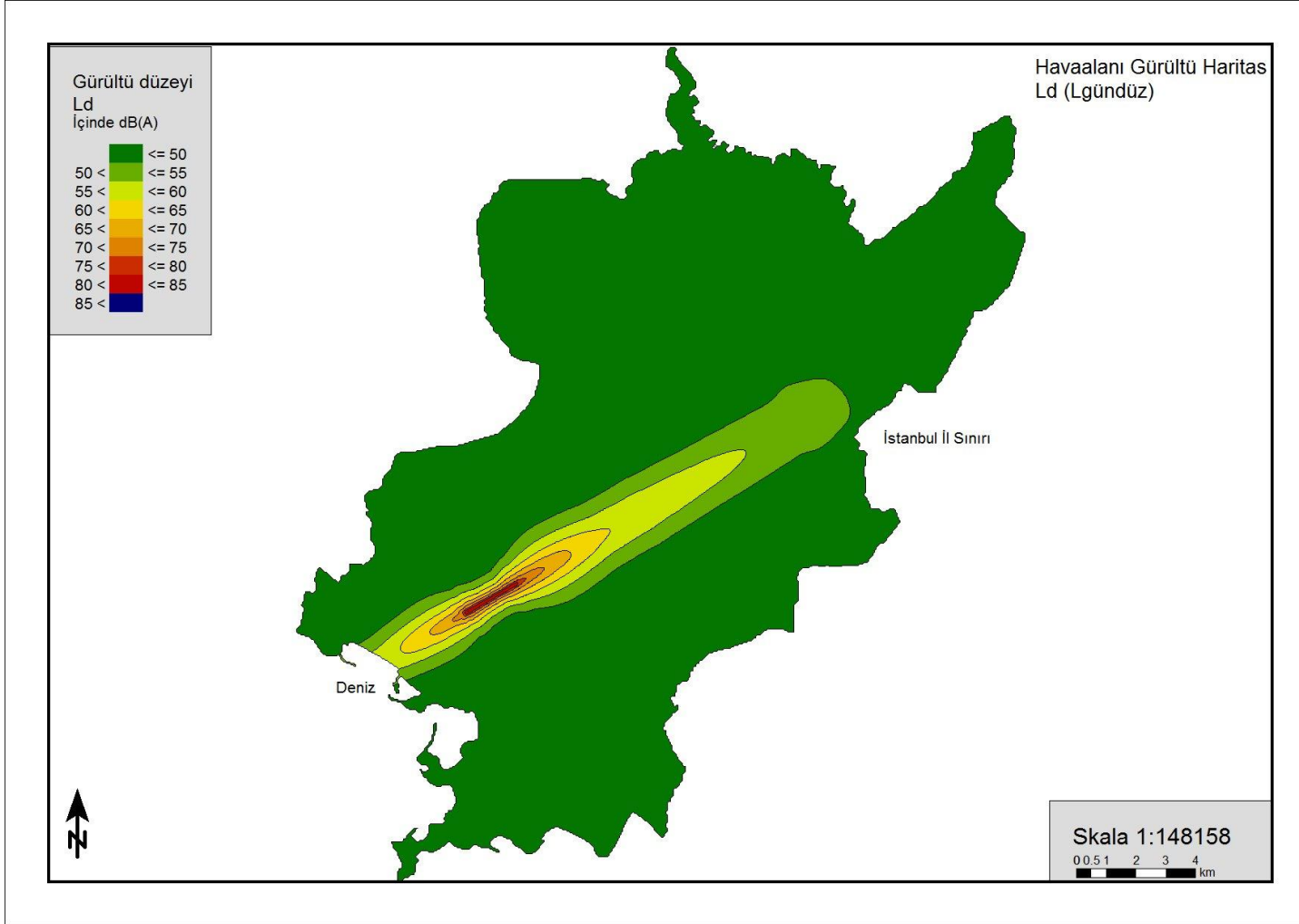
Zaman Aralığı	Büyük Havalimanı Çevre Gürültüsü Sınır Değeri		
	Sınır Değerini Aşan Konut Sayısı	Sınır Değerini Aşan Konut Nüfusu	
Ld (Lgündüz)	497	6323	68
Le (Lakşam)	1381	8222	63
Ln (Lgece)	1322	7889	58

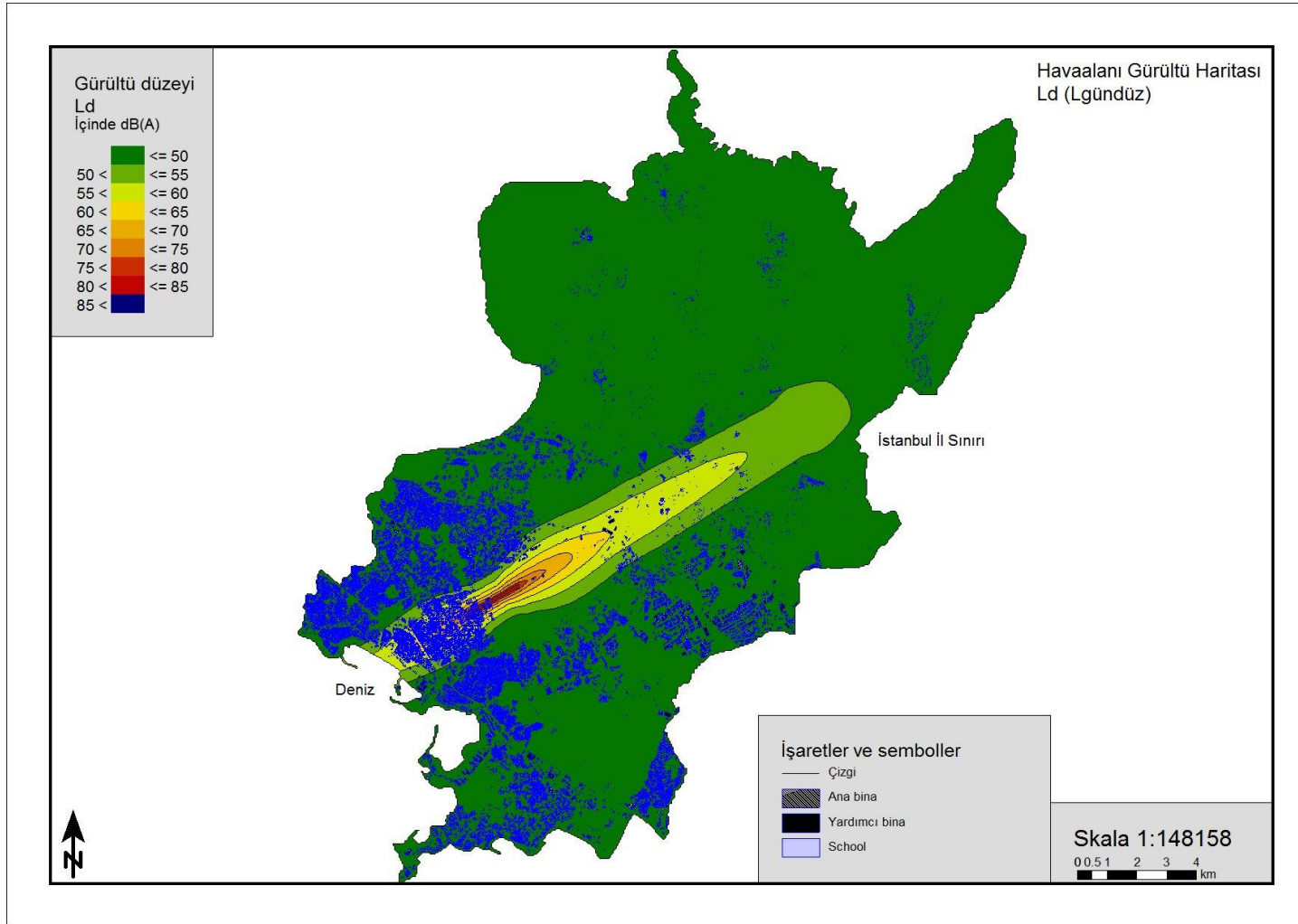
Zaman Aralığı	Büyük Havalimanı Çevre Gürültüsü Sınır Değeri		
	Sınır Değerini Okul Sayısı	Sınır Değerini Hastane Sayısı	
Ld (Lgündüz)	1	0	65
Le (Lakşam)	6	0	60
Ln (Lgece)	0	0	55

Şekil 5.10, Şekil 5.11, Şekil 5.12, Şekil 5.13, Şekil 5.14 ve Şekil 5.15'te Pendik ve Tuzla ilçelerini içine alacak şekilde düzenlenen haritalandırma alanında, Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi Yönetimi Yönetmeliği'ne uygun olarak 50m aralıklar ile 4m yükseklikte hesaplanan 50-85 dBA aralığındaki Ld (Lgündüz) değerleri verilmiştir.

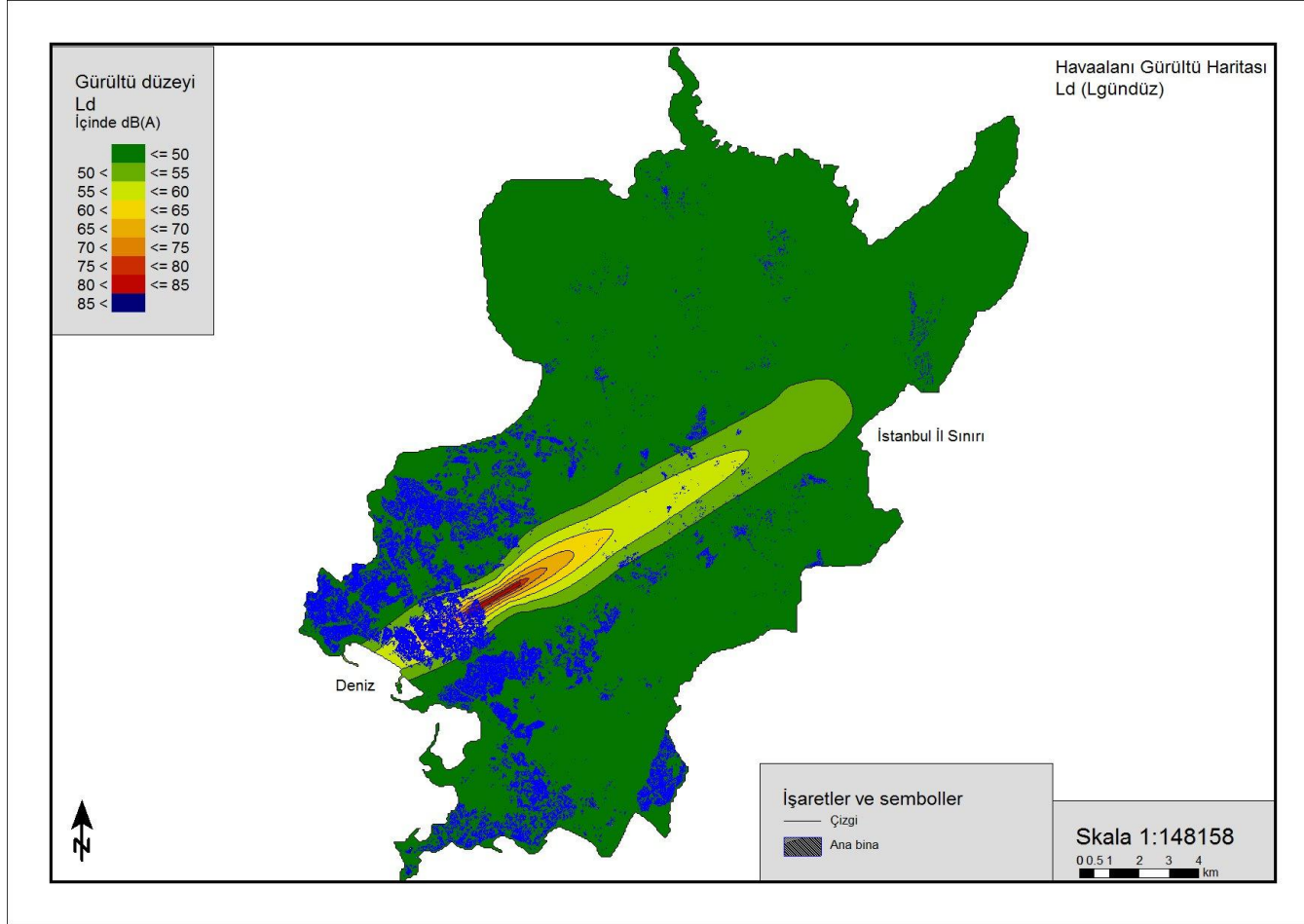




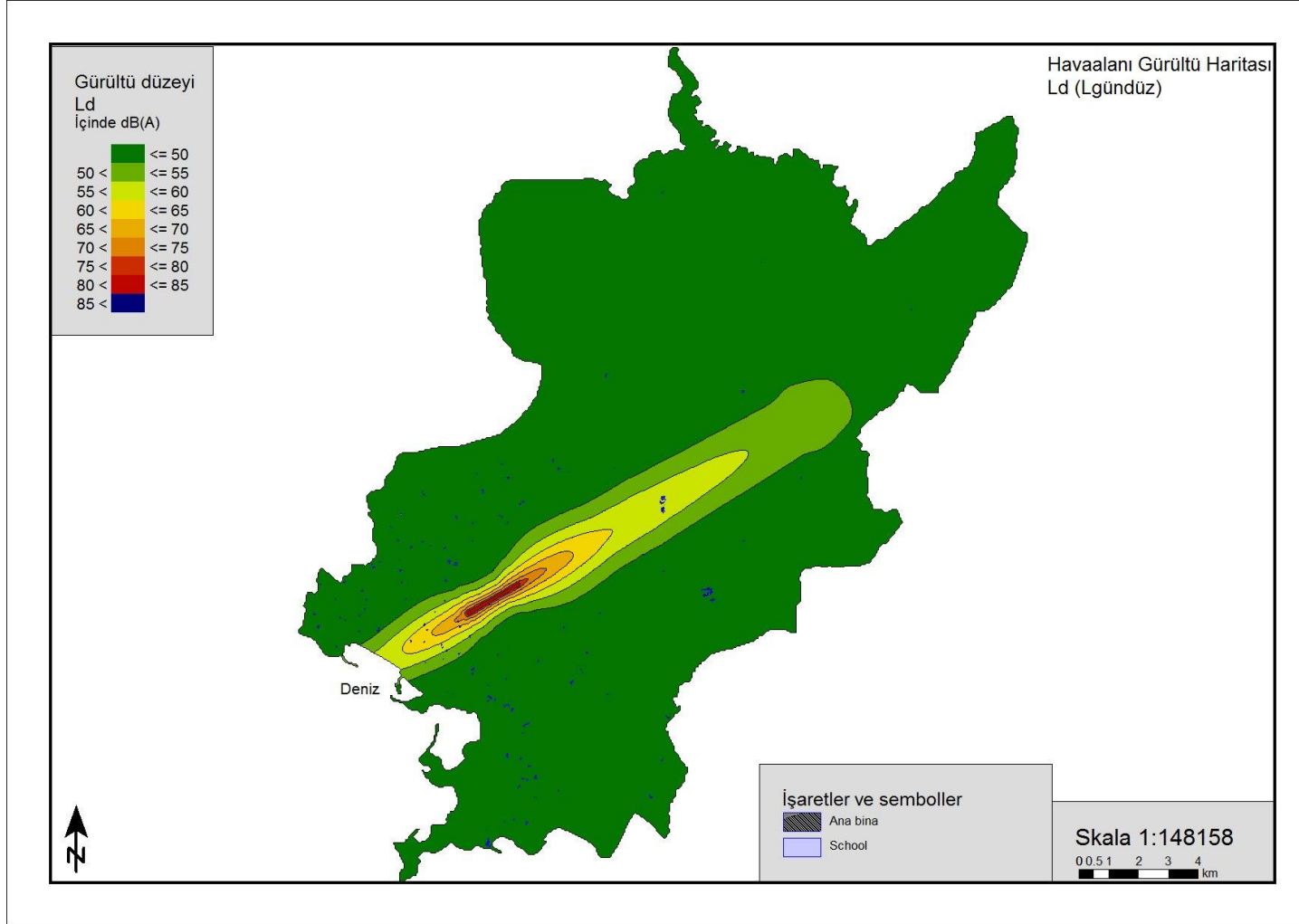
Şekil 5.10 : Haritalandırma alanı ve 2012 yılı kalkış Ld (Lgündüz) gürültü konturları



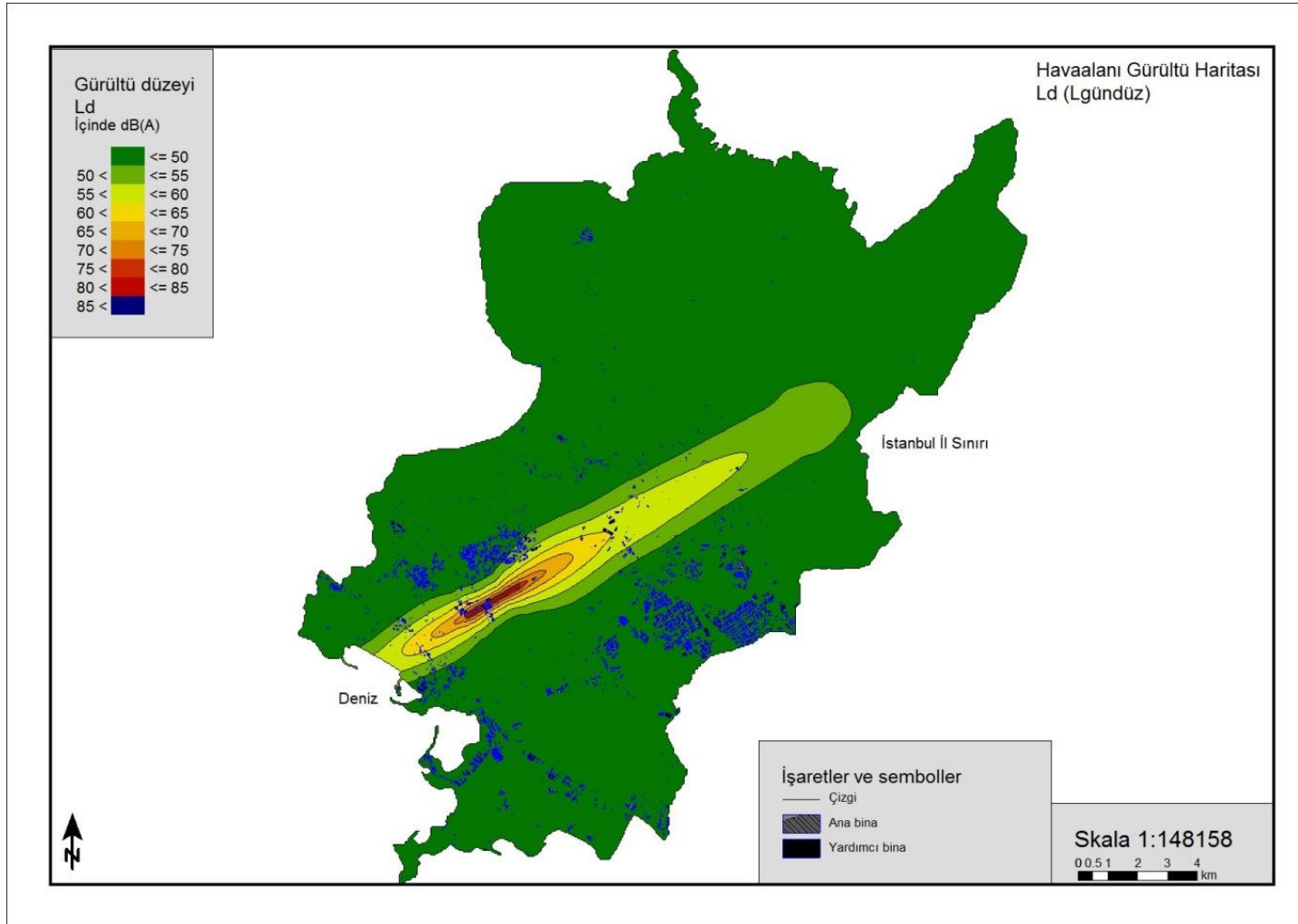
Şekil 5.11 : 2012 yılı kalkış Ld (Lgündüz) gürültü konturları ve tüm yapı tipleri



Şekil 5.12 : 2012 yılı kalkış Ld (Lgündüz) gürültü konturları ve konut yapıları



Şekil 5.13 : 2012 yılı kalkış Ld (Lgündüz) gürültü konturları ve okul yapıları



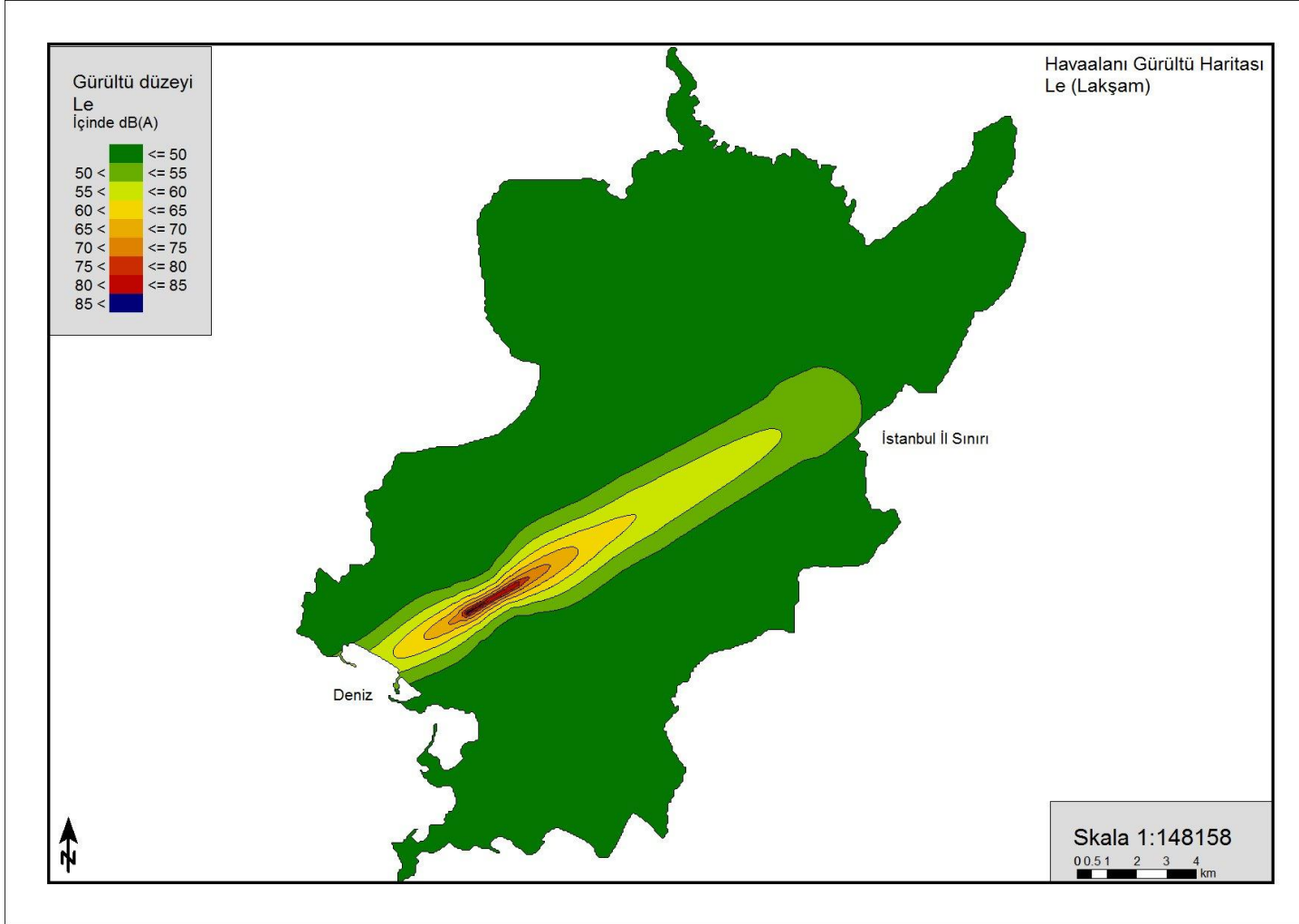
Şekil 5.14 : 2012 yılı kalkış Ld(Lgündüz) gürültü konturları ve yardımcı yapılar (ticari, resmi, fabrika)



Şekil 5.15 : 2012 yılı kalkış Ld(Lgündüz) gürültü konturları ve haritalama alanı sınırları

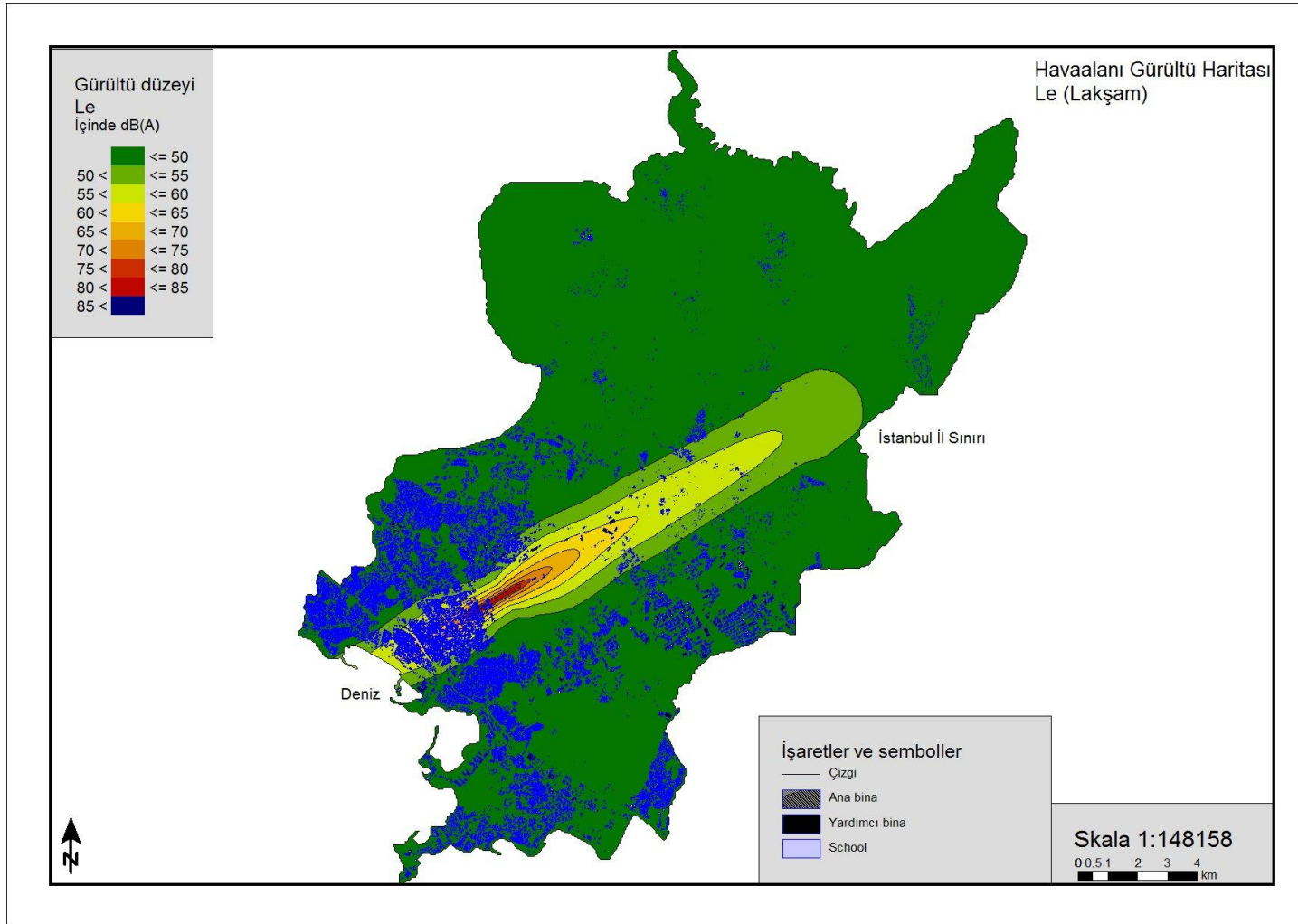
Şekil 5.10'da yalnızca haritalandırılan alan ve gürültü konturları gözükürken, Şekil 5.11'de hesaplama alanı üzerine konut, okul, hastane ve yardımcı binalar (fabrika, ticari vb.) eklenmiş haliyle sunulmuştur. Şekil 5.12, Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'te ise haritalandırılan alana konut, okul ve yardımcı binalar eklenerek gürültüden etkilenen bina tiplerinin daha net bir şekilde algılanabilmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Şekil 5.15'te alanın hesaplanan gürültü konturları harita alanının uydu fotoğrafı üzerine yerleştirilerek sunulmuştur.

Şekil 5.16, Şekil 5.17, Şekil 5.18, Şekil 5.19, Şekil 5.20 ve Şekil 5.21'de Pendik ve Tuzla ilçelerini içine alacak şekilde düzenlenen haritalandırma alanında, Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi Yönetimi Yönetmeliği'ne uygun olarak 50m aralıklar ile 4m yükseklikte hesaplanan 50-85 dBA aralığındaki Le (Lakşam) değerleri verilmiştir. Şekil 5.16'te yalnızca haritalandırılan alan ve gürültü konturları gözükürken, Şekil 5.17'te hesaplama alanı üzerine konut, okul, hastane ve yardımcı binalar (fabrika, ticari vb.) eklenmiş haliyle sunulmuştur. Şekil 5.18, Şekil 5.19 ve Şekil 5.20'de ise haritalandırılan alana konut, okul ve yardımcı binalar eklenerek gürültüden etkilenen bina tiplerinin daha net bir şekilde algılanabilmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Şekil 5.21'da alanın hesaplanan gürültü konturları harita alanının uydu fotoğrafı üzerine yerleştirilerek sunulmuştur.

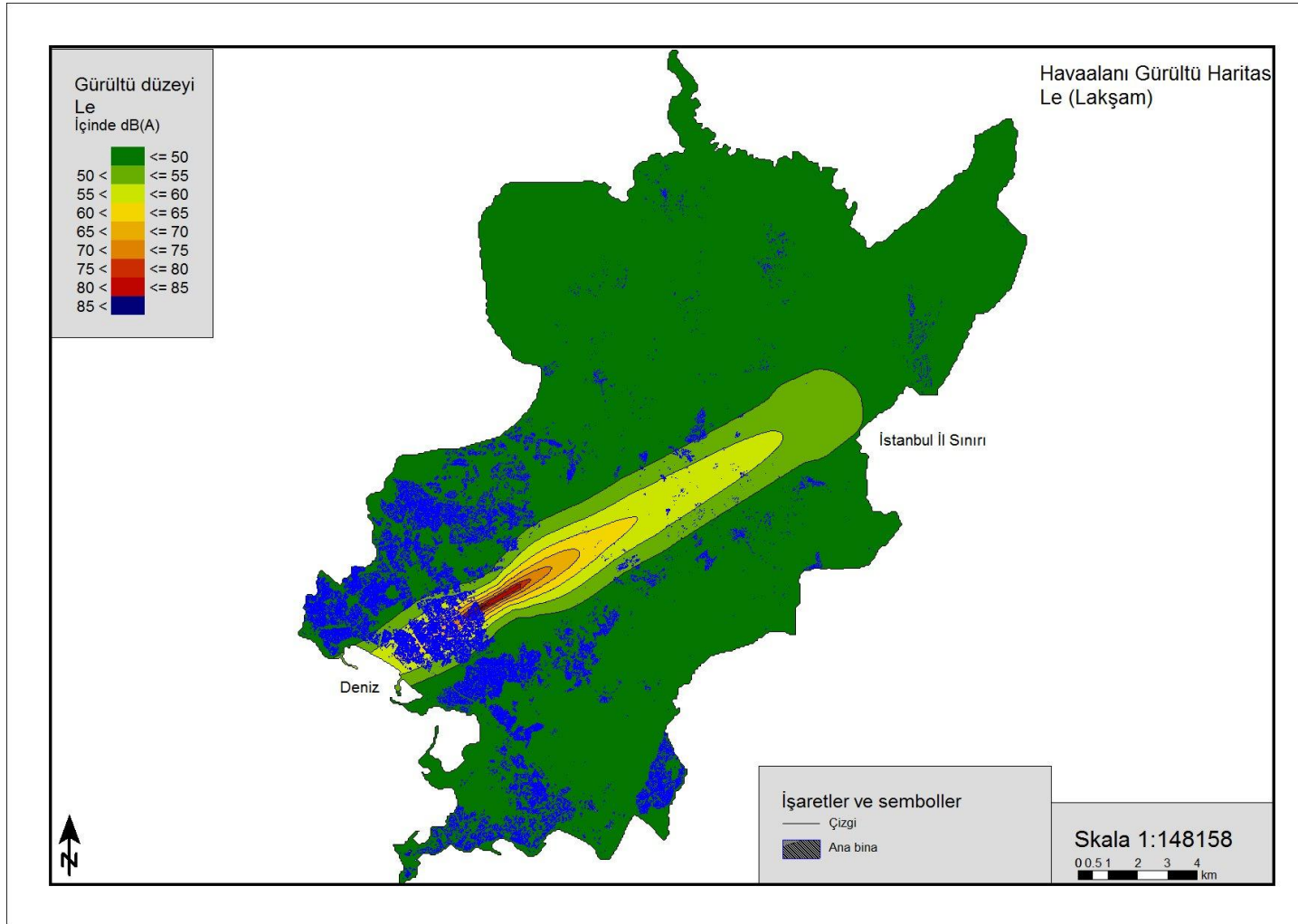


Şekil 5.16 : Haritalandırma alanı ve 2012 yılı kalkış Le (Lakşam) gürültü konturları

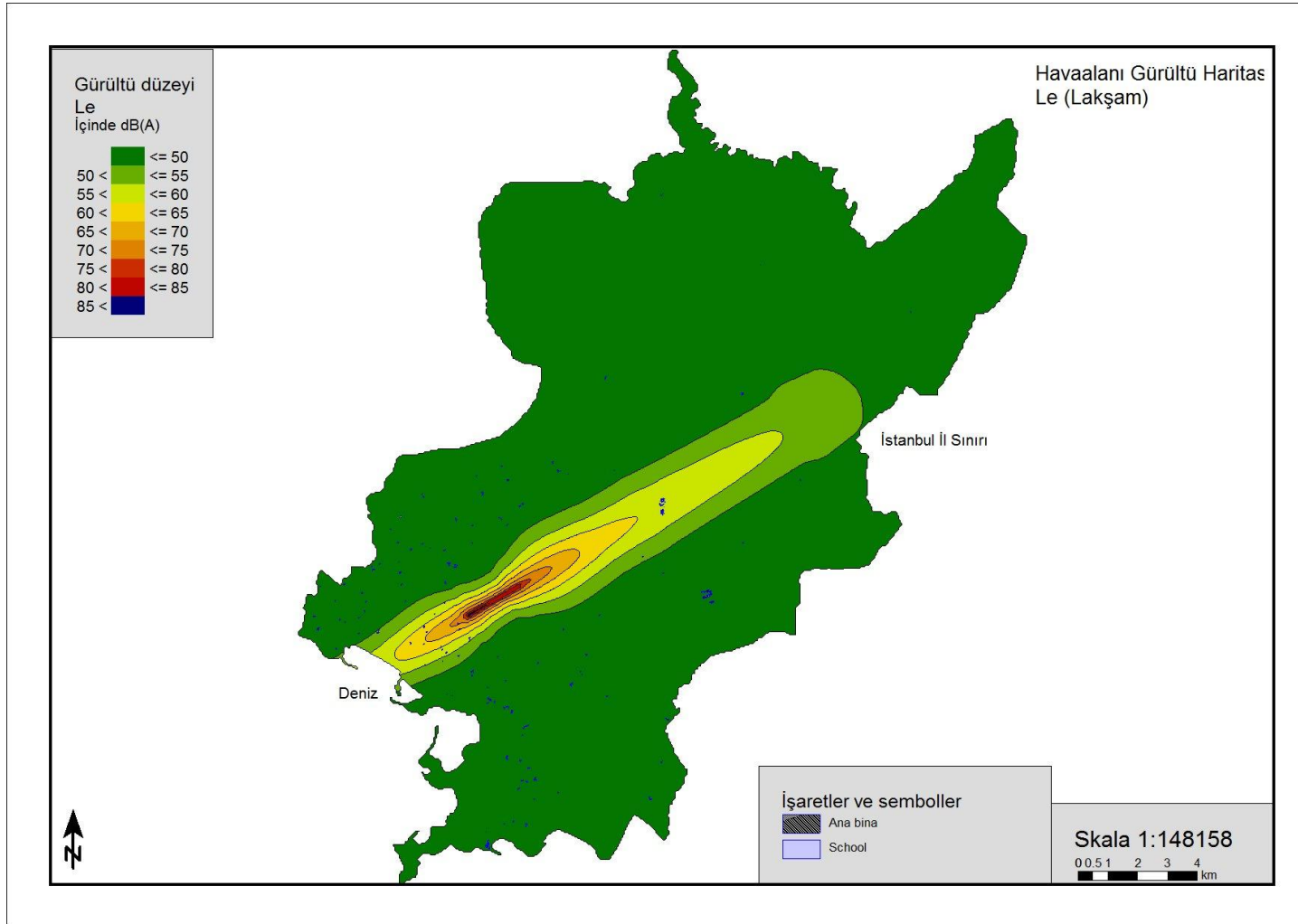




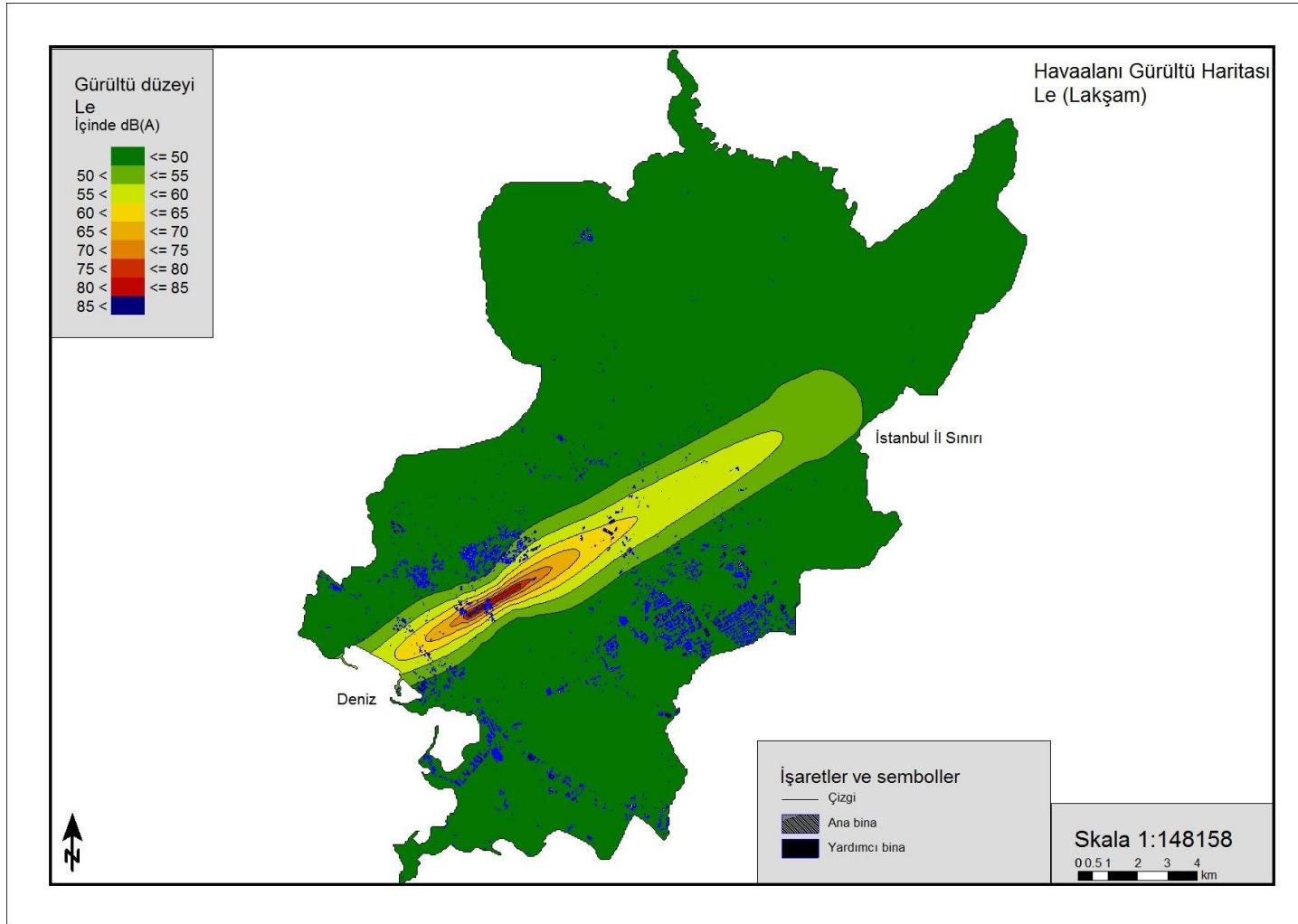
Şekil 5.17 : 2012 yılı kalkış Le (Lakşam) gürültü konturları ve tüm yapı tipleri



Şekil 5.18 : 2012 yılı kalkış Le (Lakşam) gürültü konturları ve konut yapıları



Şekil 5.19 : 2012 yılı kalkış Le (Lakşam) gürültü konturları ve okul yapıları



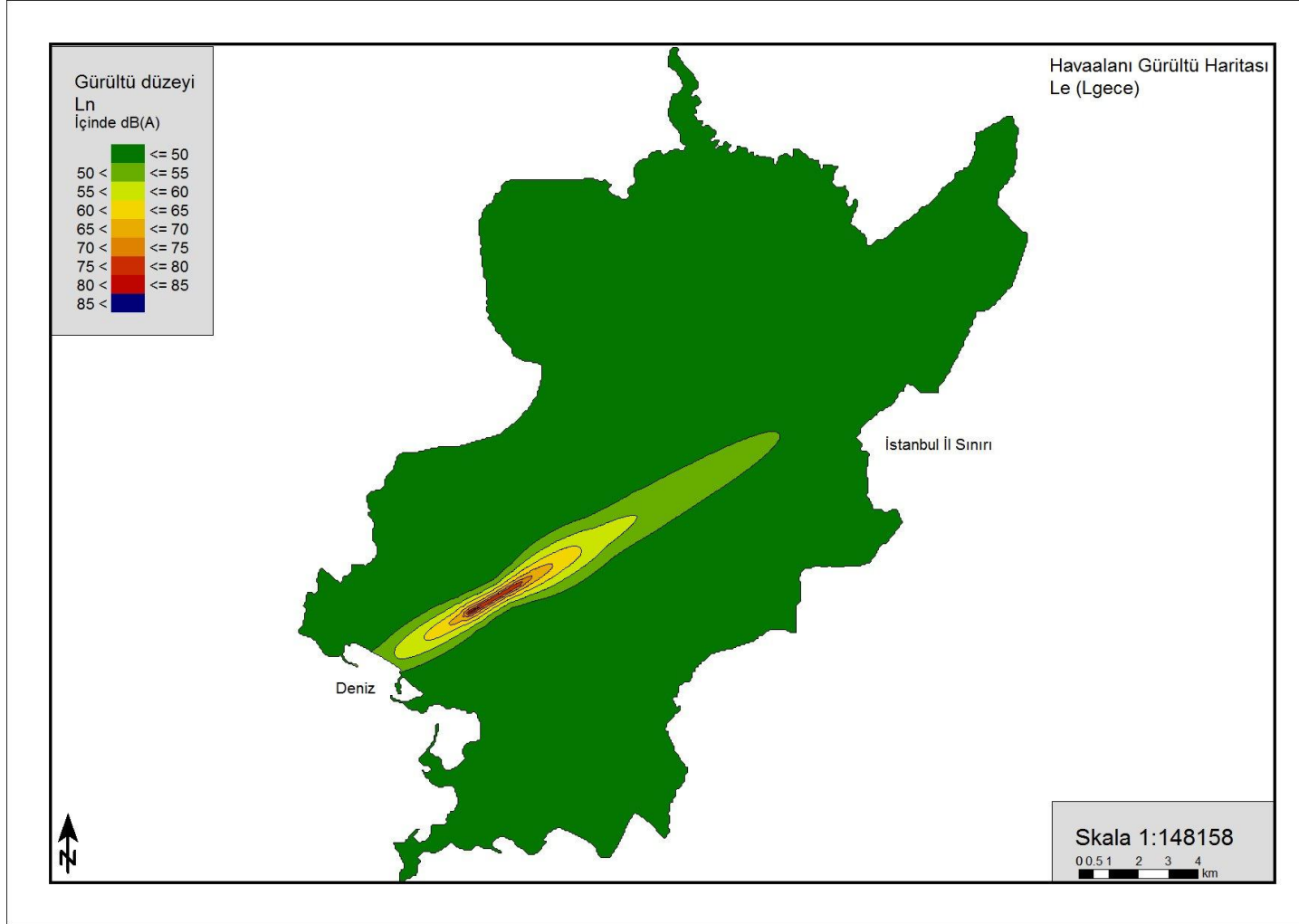
Şekil 5.20 : 2012 yılı kalkış Le (Lakşam) gürültü konturları ve yardımcı yapılar (ticari, resmi, fabrika)



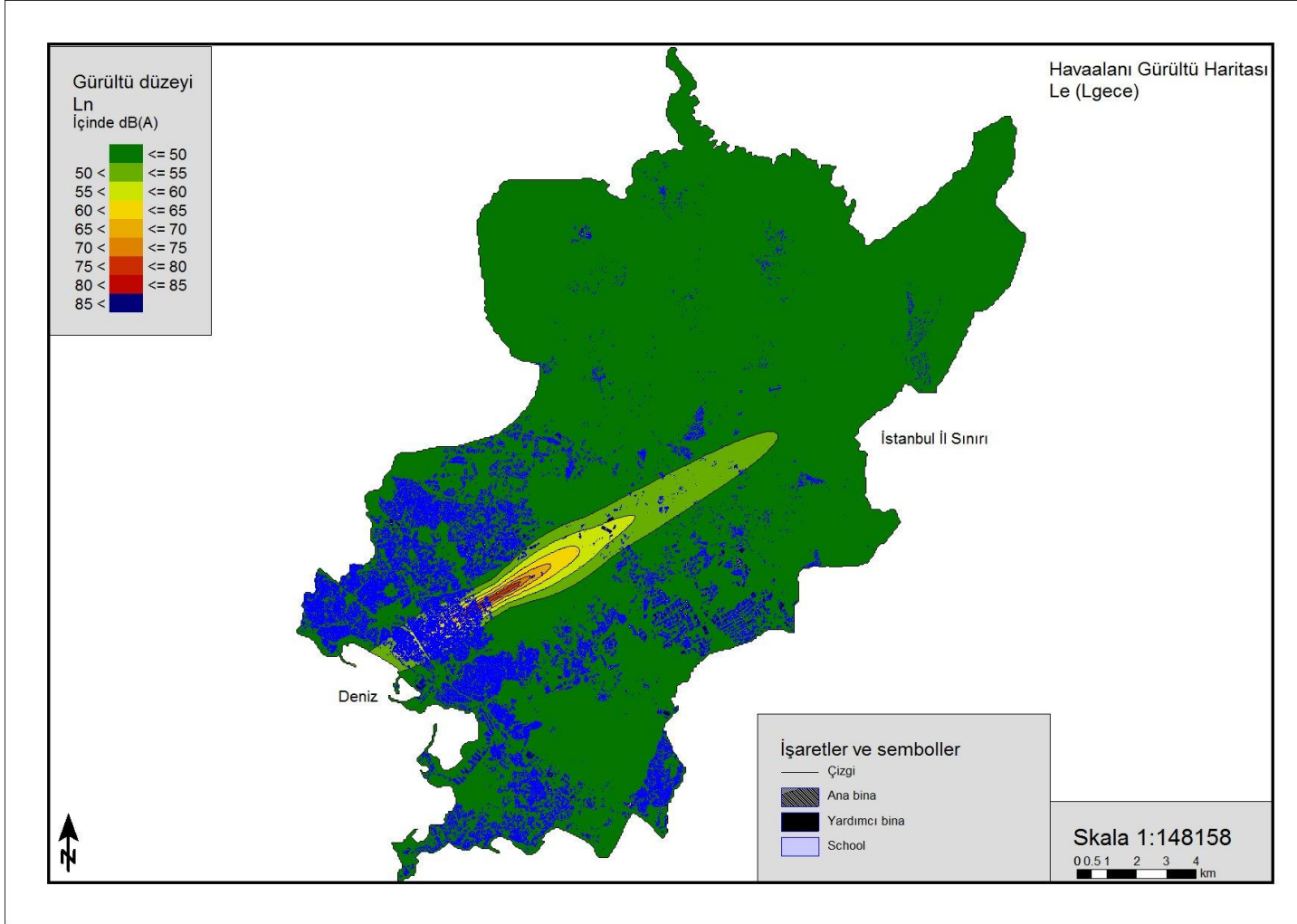
Şekil 5.21 : 2012 yılı kalkış Le (Lakşam) gürültü konturları ve haritalama alanı

Şekil 5.22, Şekil 5.23, Şekil 5.24, Şekil 5.25 ve Şekil 5.26'da Pendik ve Tuzla ilçelerini içine alacak şekilde düzenlenen haritalandırma alanında, Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi Yönetimi Yönetmeliği'ne uygun olarak 50m aralıklar ile 4m yükseklikte hesaplanan 50-85 dBA aralığındaki Ln (Lgece) değerleri verilmiştir. Şekil 5.22'de yalnızca haritalandırılan alan ve gürültü konturları gözükmektedir, Şekil 5.23'te hesaplama alanı üzerine konut ve yardımcı binalar (fabrika, ticari vb.) eklenmiş haliyle sunulmuştur. Şekil 5.24 ve Şekil 5.25'te konut ve yardımcı binalar ayrı ayrı gösterilmiştir. Lgece gürültü haritalarında gündüz kullanımlı binalar (okul, resmi vb) haritalama alanında dahil edilmemiştir. Şekil 5.26'da alanın hesaplanan gürültü konturları harita alanının uydu fotoğrafı üzerine yerleştirilerek sunulmuştur.

Şekil 5.27, Şekil 5.28, Şekil 5.29, Şekil 5.30, Şekil 5.31 ve Şekil 5.32'de Pendik ve Tuzla ilçelerini içine alacak şekilde düzenlenen haritalandırma alanında, Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi Yönetimi Yönetmeliği'ne uygun olarak 50m aralıklar ile 4m yükseklikte hesaplanan 50-85 dBA aralığındaki Lden (Lgag) değerleri verilmiştir. Şekil 5.27'de yalnızca haritalandırılan alan ve gürültü konturları gözükmektedir, Şekil 5.28'de hesaplama alanı üzerine konut, okul, hastane ve yardımcı binalar (fabrika, ticari vb.) eklenmiş haliyle sunulmuştur. Şekil 5.29, 5.30 ve 5.31'de ise haritalandırılan alana konut, okul ve yardımcı binalar eklenerek gürültüden etkilenen bina tiplerinin daha net bir şekilde algılanabilmesi sağlanmaya çalışılmıştır. Şekil 5.32'de alanın hesaplanan gürültü konturları harita alanının uydu fotoğrafı üzerine yerleştirilerek sunulmuştur.

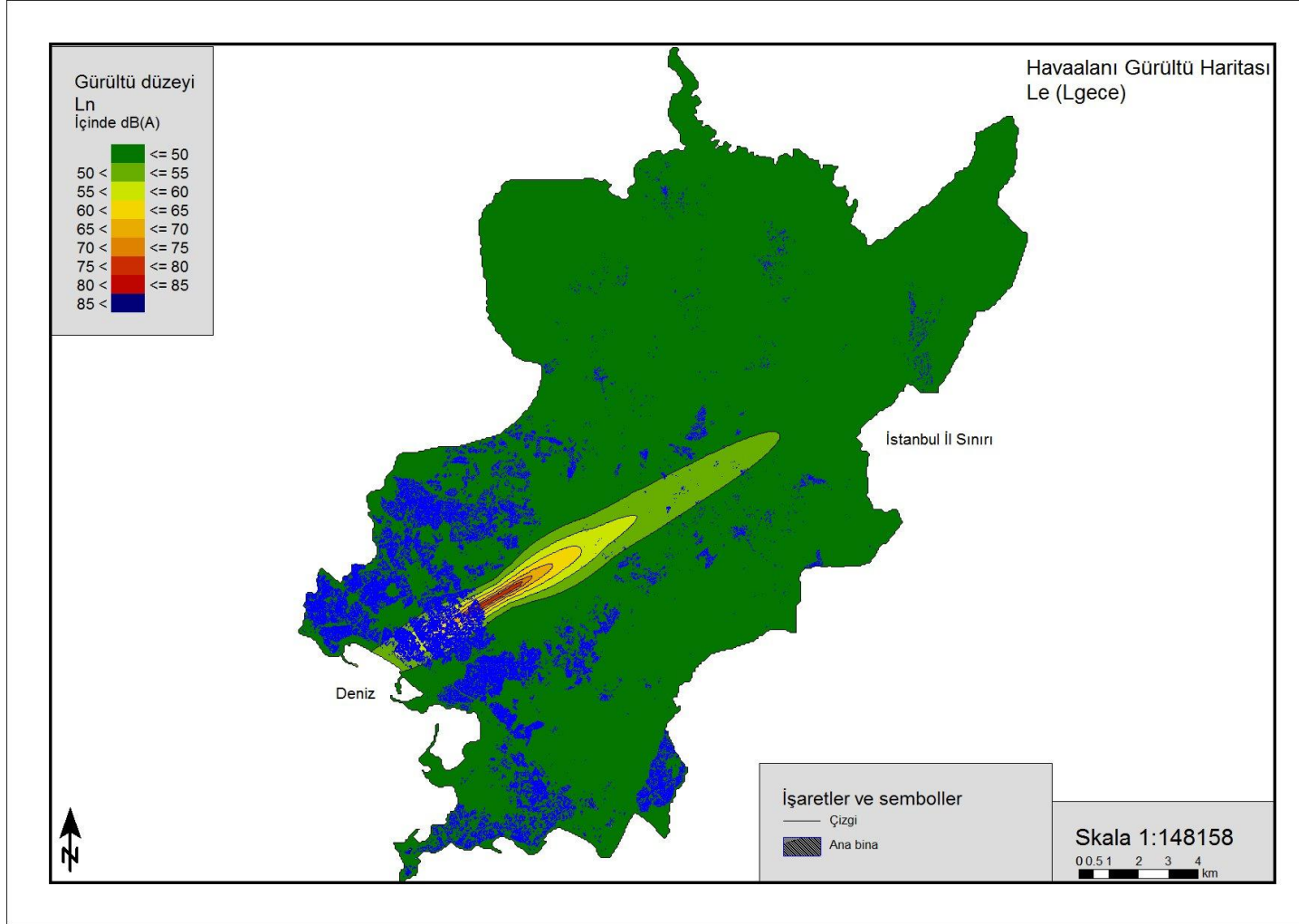


Şekil 5.22 : Haritalandırma alanı ve 2012 yılı kalkış Ln (Lgece) gürültü konturları

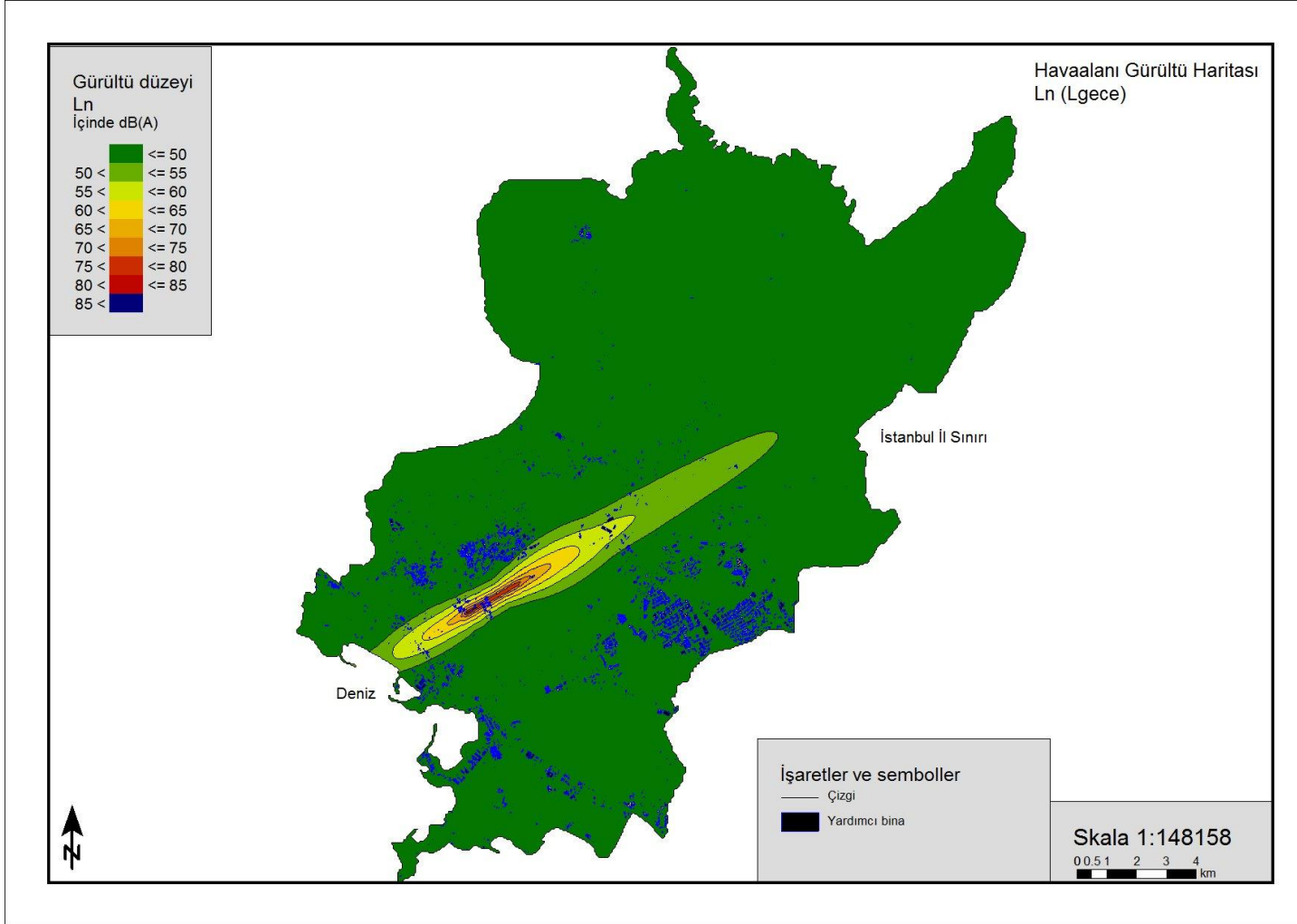


Şekil 5.23 : 2012 yılı kalkış Ln (Lgece) gürültü konturları ve tüm yapı tipleri





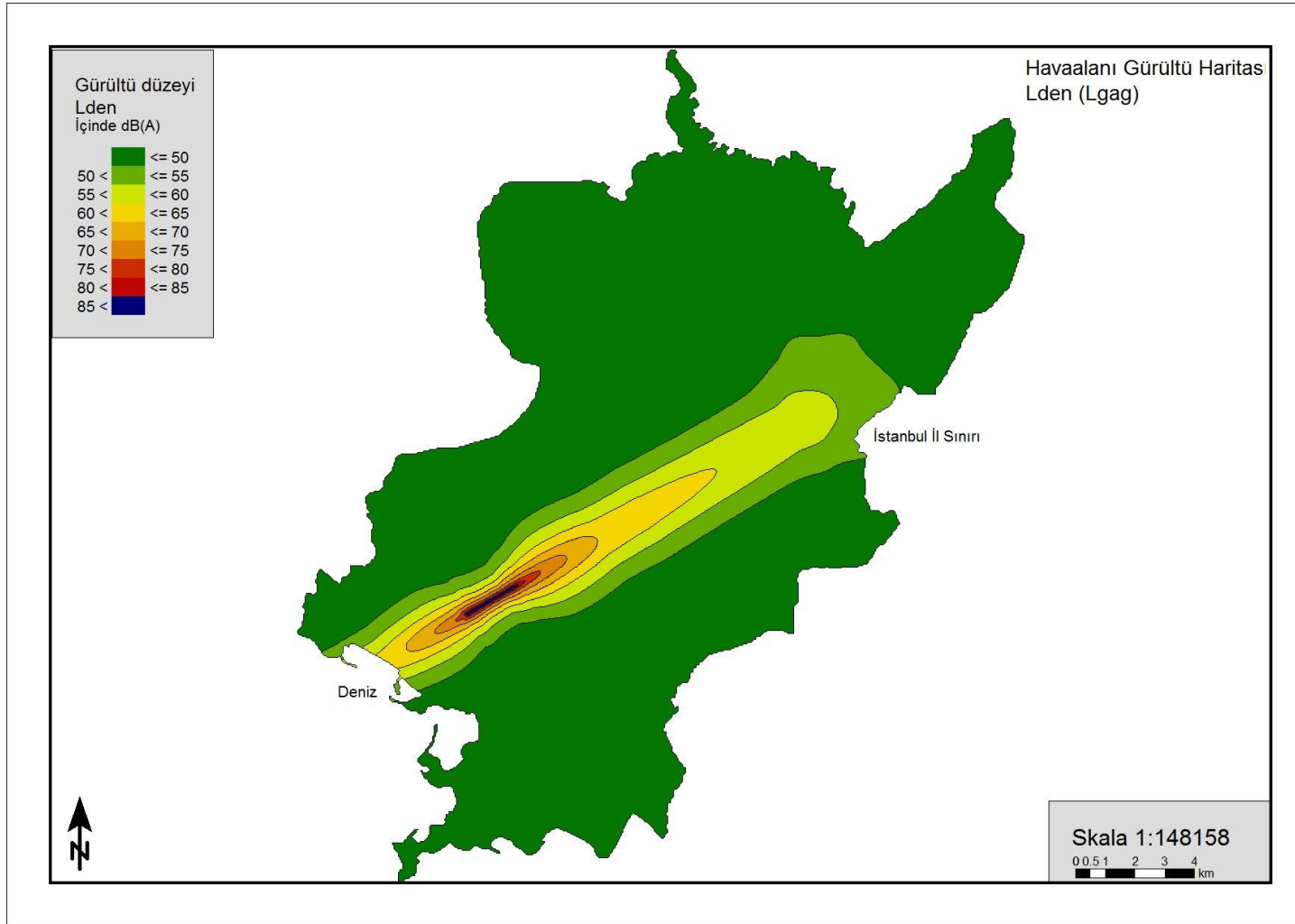
Şekil 5.24 : 2012 yılı kalkış Ln (Lgece) gürültü konturları ve konut yapıları



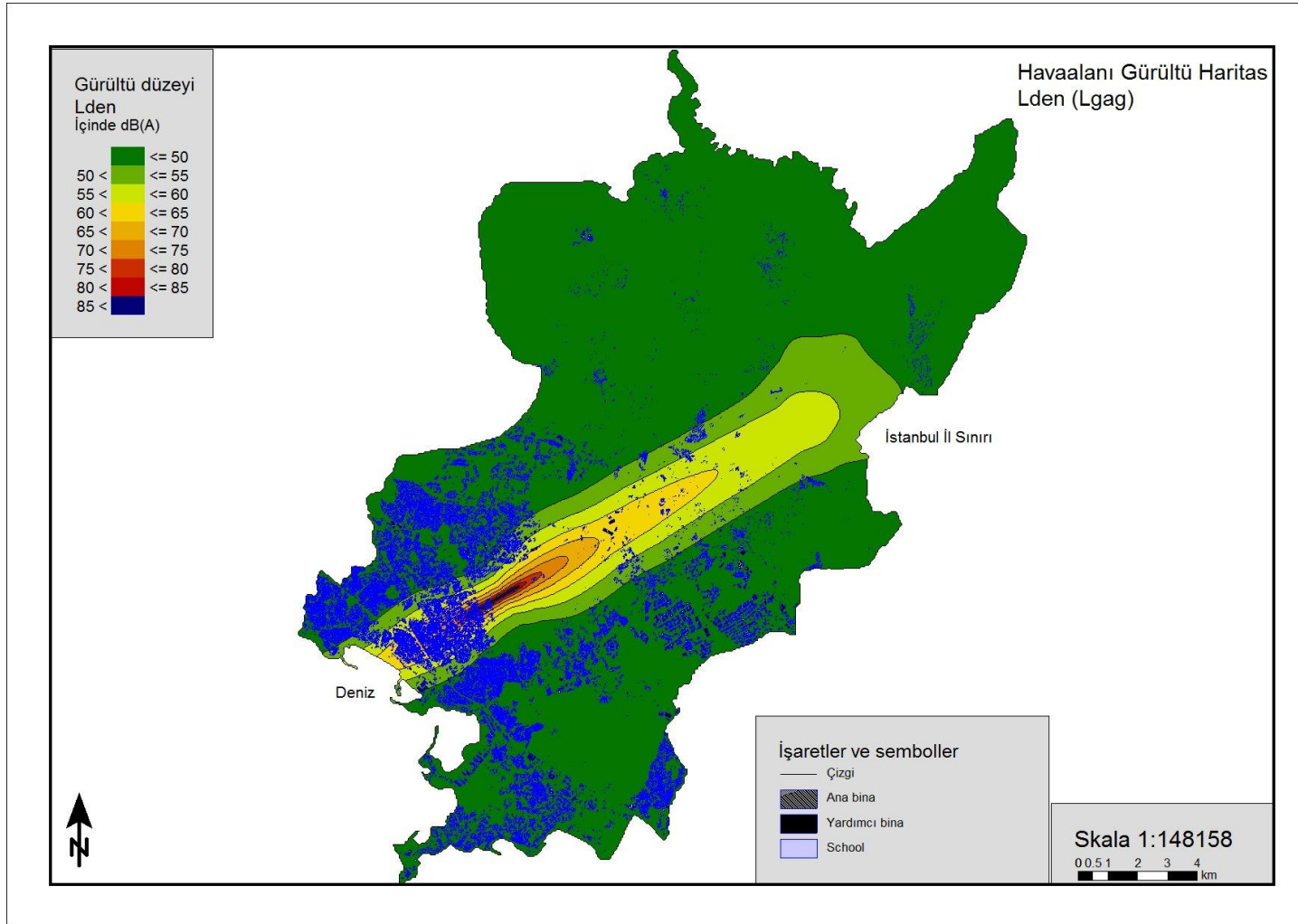
Şekil 5.25 : 2012 yılı kalkış Ln (Lgece) gürültü konturları ve yardımcı yapılar (ticari, resmi, fabrika)



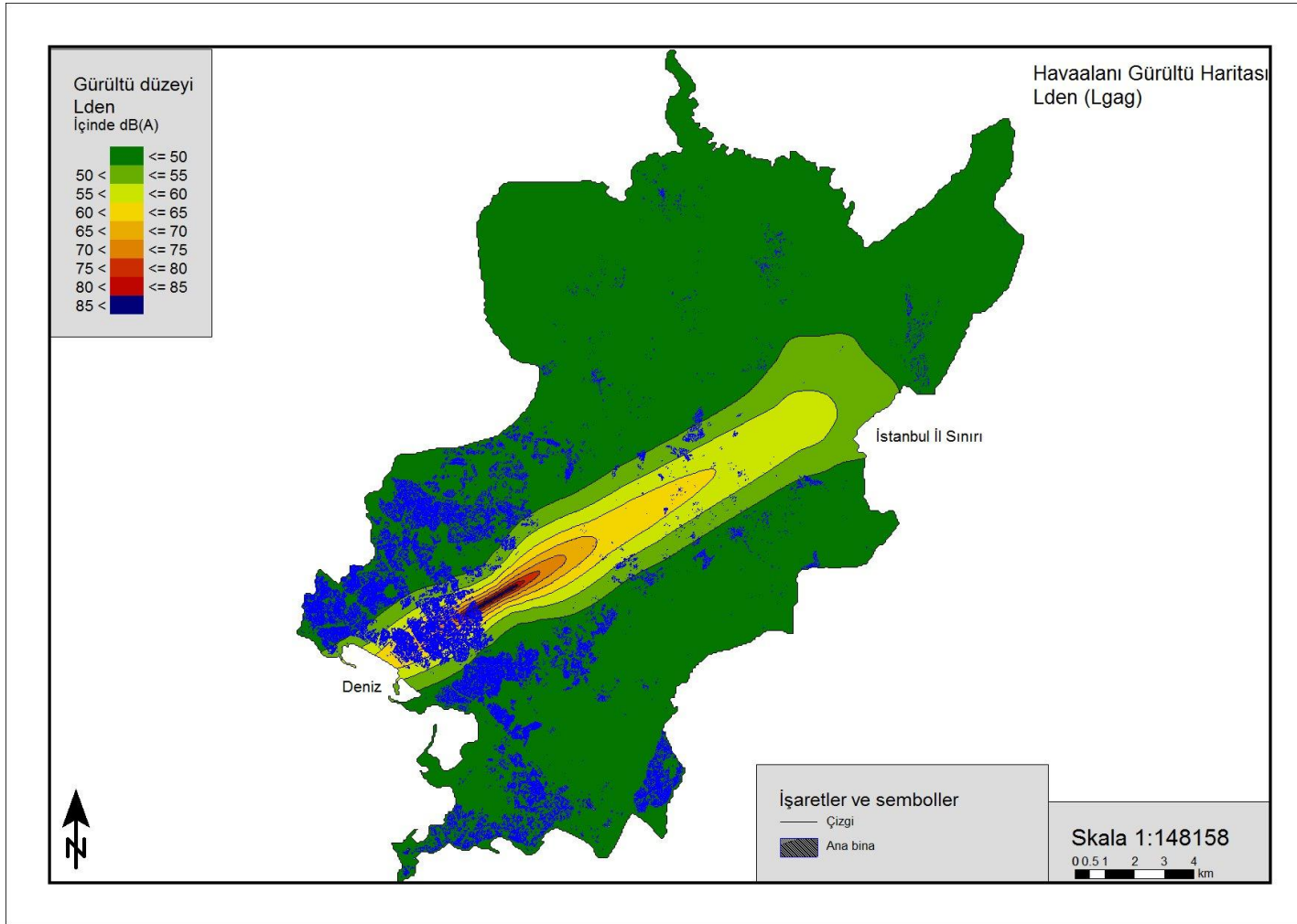
Şekil 5.26 : 2012 yılı kalkış Ln (Lgece) gürültü konturları ve haritalama alanı sınırları



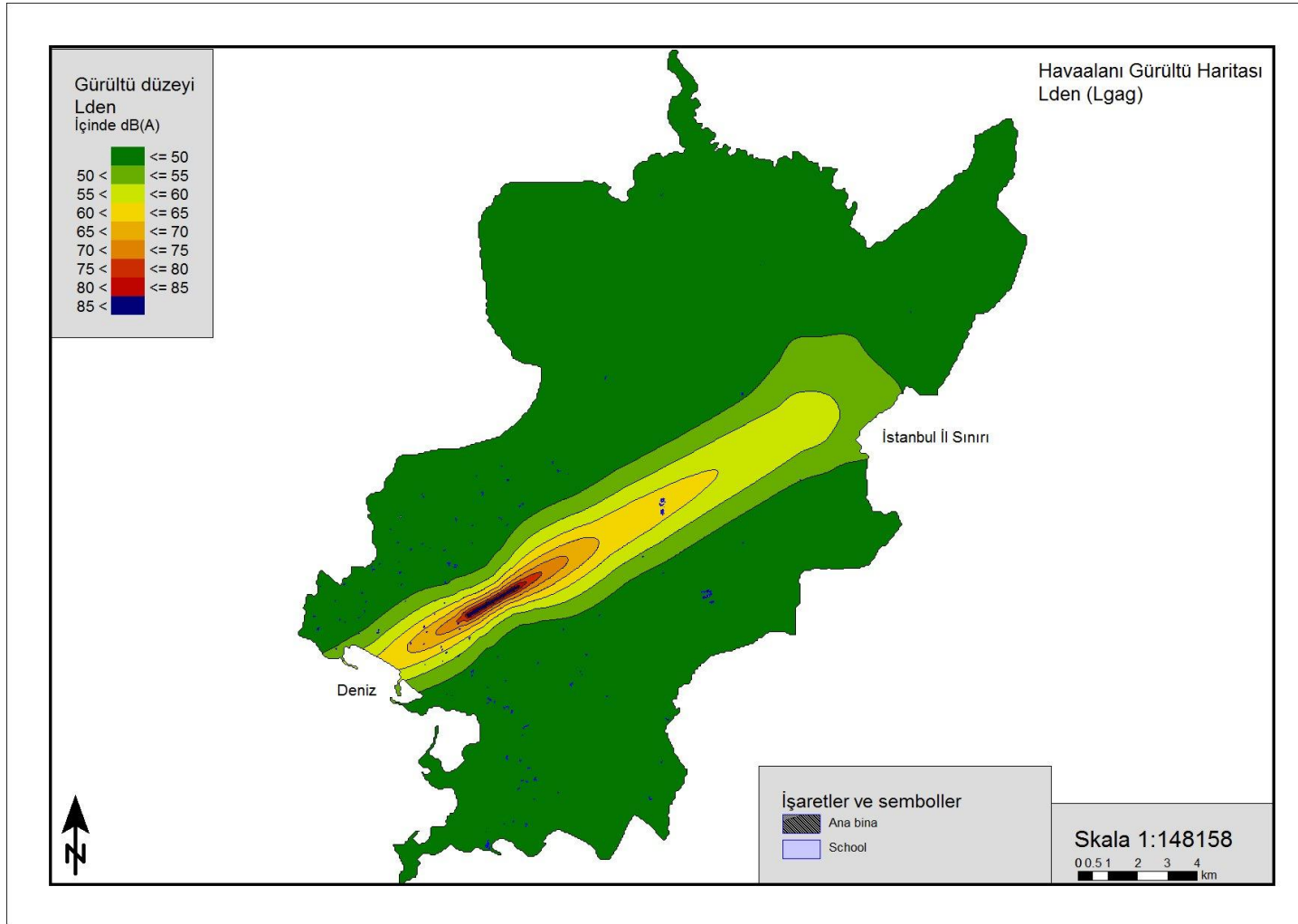
Şekil 5.27 : Haritalama alanı ve 2012 yılı kalkış Lden (Lgag) gürültü konturları



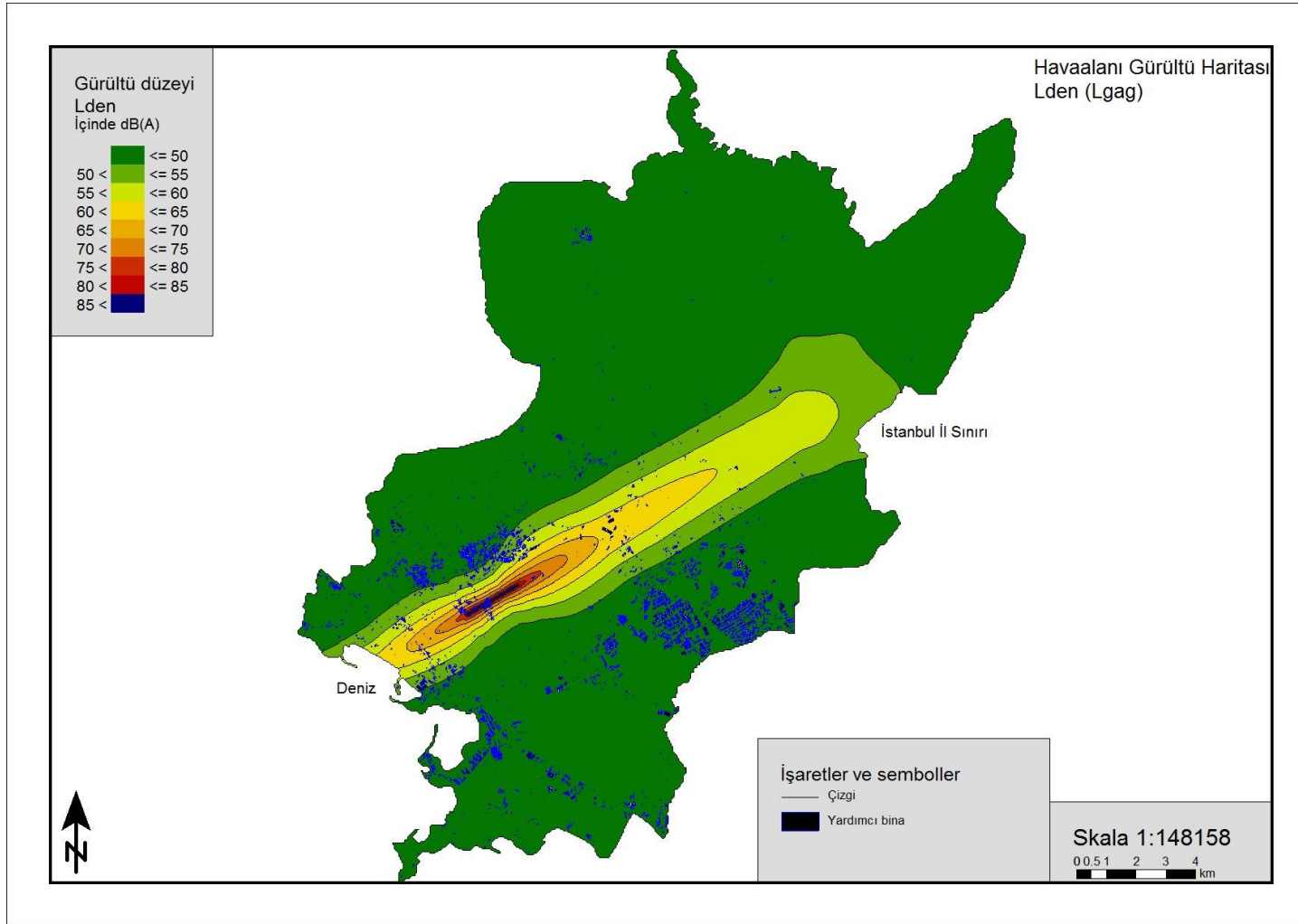
Şekil 5.28 : 2012 yılı kalkış Lden (Lgag) gürültü konturları ve tüm yapı tipleri



Şekil 5.29 : 2012 yılı kalkış Lden (Lgag) gürültü konturları ve konut yapıları

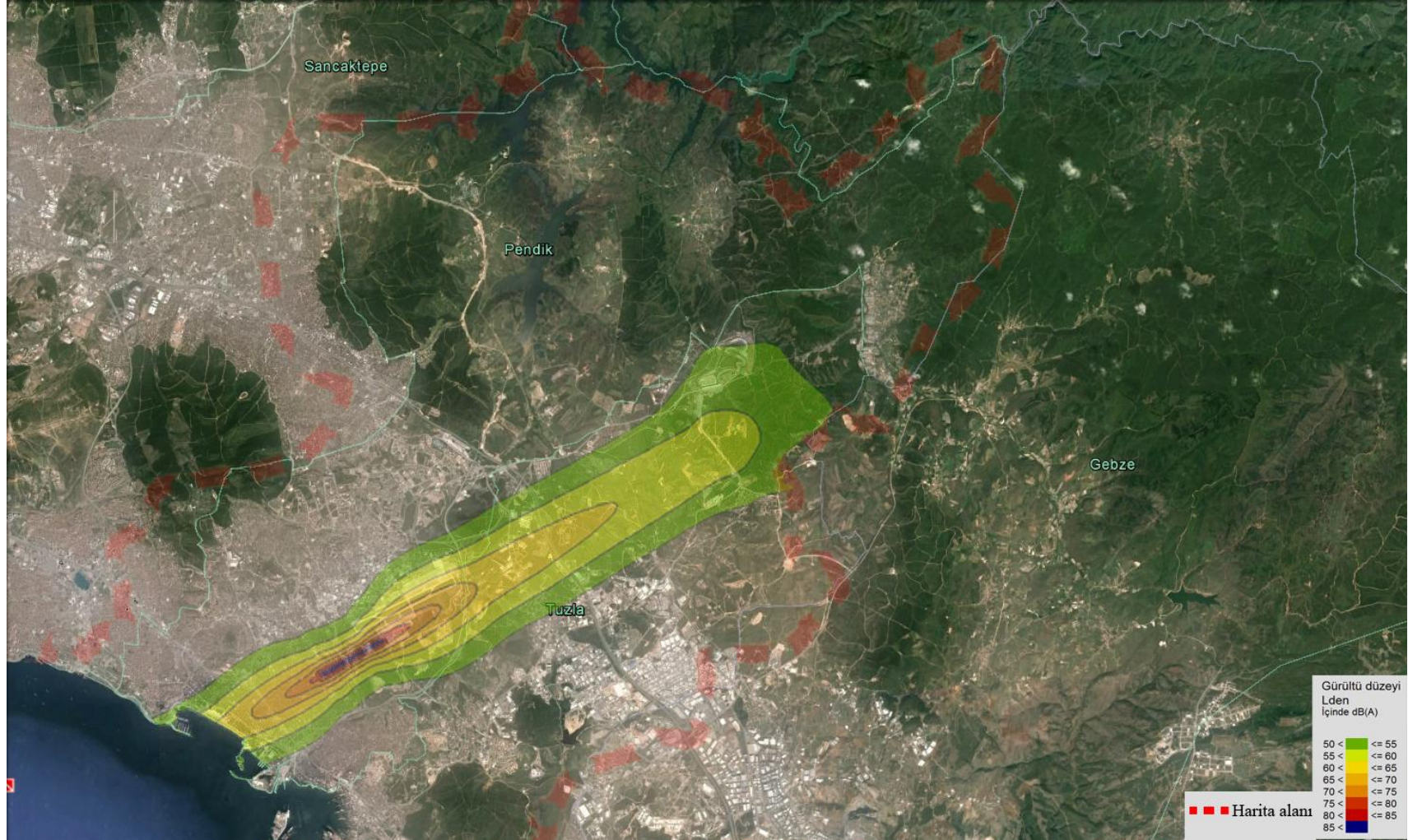


Şekil 5.30 : 2012 yılı kalkış Lden (Lgag) gürültü konturları ve okul yapıları



Şekil 5.31 : 2012 yılı kalkış Lden (L<sub>gag</sub>) gürültü konturları ve yardımcı yapılar (ticari, resmi, fabrika)





Şekil 5.32 : 2012 yılı kalkış Lden (Lgag) gürültü konturları ve haritalama alanı sınırları

## 5.5 Değerlendirme

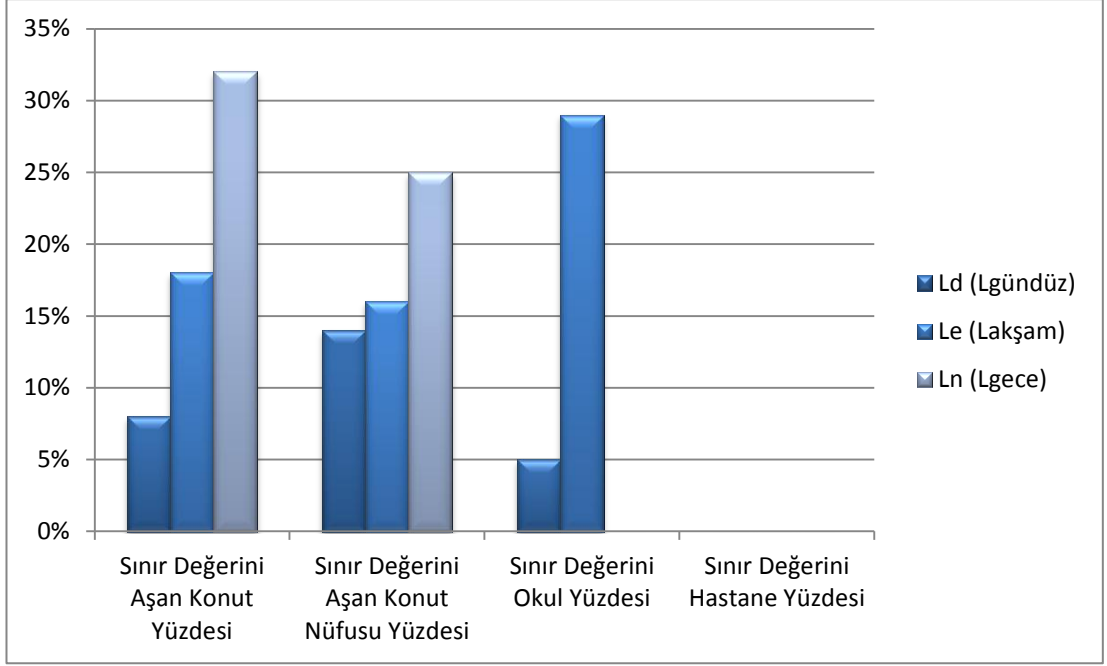
Sabiha Gökçen Havalimanı Gürültü Haritalama çalışması kapsamında, haritalanan bölge Pendik ve Tuzla ilçelerini içerisine almaktadır. Bu iki ilçesinde bulunan tüm konut, okul, hastane ve diğer yapılar ile birlikte toplam 854.932 konut sakini de değerlendirmeye alınmıştır. Çevre ve Orman Bakanlığı'nın Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliğinde belirtilen sınır değerleri kapsamında gürültüden etkilenen bina ve nüfus yüzdeleri Çizelge 5.5'te verilmiştir. Buna göre, gündüz zaman diliminde, konut yapılarının %8'i, konut sakinlerinin %14'ü ve okul yapılarının %5'i sınır değerlerinin üzerinde gürültüye maruz kalmaktadır. Akşam zaman dilimine bakıldığında, konut yapılarında gürültüden etkilenme oranı %18'e çıkarken konut nüfusu %16 oranında, okul yapıları ise %29 oranında sınır değerini aşmaktadır. Gece zaman diliminde okul yapılarının kullanılmadığı varsayılarak hesaplamaya katılmamışlardır. Konut yapıları %32, konut sakinleri ise %25 oranında sınır değerini aşan gece zaman dilimi içerisindeki gürültüye maruz kalmaktadır. Oranlara bakıldığında, gürültünün en çok gece zaman diliminde etkili olduğu açık bir şekilde gözlemlenmiştir. Şekil 5.33'te verilen grafikte de yapıların ve konut sakinlerinin sınır değerlerinin üzerinde etkilendikleri gürültü oranları grafik halinde verilmiştir.

**Çizelge 5.5 :** Sınır değerlerini aşan konut, nüfus ve gürültüye hassas yapıların yüzdeleri.

<b>Zaman Aralığı</b>	<b>Büyük Havalimanı Çevre Gürültüsü Sınır Değeri</b>	<b>Sınır Değerini Aşan Konut Yüzdesi</b>	<b>Sınır Değerini Aşan Konut Nüfusu Yüzdesi</b>
Ld (Gündüz)	68	8%	14%
Le (Lakşam)	63	18%	16%
Ln (Lgece)	58	32%	25%

<b>Zaman Aralığı</b>	<b>Büyük Havalimanı Çevre Gürültüsü Sınır Değeri</b>	<b>Sınır Değerini Okul Yüzdesi</b>	<b>Sınır Değerini Hastane Yüzdesi</b>
Ld (Gündüz)	65	5%	0%
Le (Lakşam)	60	29%	0%
Ln (Lgece)	55	0%	0%



**Şekil 5.33** : Sınır değerleri üzerinde etkilenen konut yapıları, okul ve hastane yapıları ile konut sakinleri yüzdelerik değerleri

Elde edilen gürültü konturları incelendiğinde, 85 dBA ve üzeri gürültüye maruz kalan Fevzi Çakmak ve Cam Çeşme mahallelerinde yani uçağın kalkış zemini ve yakın çevresinde olduğu gözlemlenmektedir. Bunun sebebi olarak uçağın kalkış öncesi zeminde oluşturduğu gürültünün en yüksek düzeyde olduğu söylenebilir.

Sabiha Gökçen Havalimanı incelendiğinde, bölgenin güneyinde, batısında ve doğusunda yoğunluklu yapılaşma olduğu gözlemlenmiştir. Konut binaları özellikle bu üç yönde oldukça yoğun bir biçimde konumlandırılmışlardır. Havalimanı'nın kuzeyinde yani Gülbağlar, Ramazanoğlu, Kurtköy Mahallelerinde ise oldukça seyrek sayıda konut yapısı olduğu görülürken, henüz yapılaşmaya açılmamış yeşil alanların büyük yer kapladığı dikkat çekmektedir.

Havalimanı yakınında bulunan ve şehrin ana arterlerinden biri olan O-4 karayolu ve yine doğu-batı-güney yönlerinde konumlandırılmış fabrika yapılarının bölgedeki gürültü yoğunluğuna buldukları katkı da göz ardı edilmemelidir.



## 6. SONUÇ

Yapılan çalışmada, havalimanı gürültü haritalaması teorik olarak incelenmiş ve Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı örneği üzerinde uygulama yapılmıştır. Uçak, bir gürültü kaynağı olarak ele alınarak incelenmiş, farklı uçak tiplerine göre üretilen gürültüler belirlenmiştir. Gürültünün insan sağlığı üzerinde yarattığı olumsuz etkiler dikkate alınmıştır. Türkiye'de Çevre ve Orman Bakanlığı'nın 'Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği' incelenerek, Türkiye'de gürültü haritalama ve havalimanı gürültü haritalaması ile ilgili zorunluluklar ve Amerika Ulusal Havacılık Örgütü'nün uçak gürültüsü ile ilgili standardı ve pek çok Avrupa ülkesi ve Türkiye'de geçerli kabul edilen sivil havalimanları çevresindeki gürültü haritalama yöntemi esas alınmıştır. Çalışma kapsamında, Türkiye, Avrupa, Amerika Birleşik Devletleri ve bazı diğer ülkelerde yapılmış, farklı yöntemler kullanılarak hazırlanmış havalimanları gürültü haritaları örnek çalışmaları incelenmiş, Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı örnek bir çalışma olarak ele alınarak gürültü haritaları hazırlanmıştır.

Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı gürültü haritalama süreci sonucunda elde edilen haritalarda gösterilen mavi renkli bölgeler konut, okul, hastane ve yardımcı yapıları göstermektedir. Elde edilen haritalarda, havalimanının güneyinde bulunan ve D-100 ve sahil yolunun çevresindeki Pendik ilçe sınırlarına dahil olan yapılarda yoğunluklu olarak 65 dBA üzerinde gürültüye maruz kaldığı ortaya çıkmıştır. Özellikle havalimanının komşusu olan Tandoğan Caddesi ile Kaynarca Caddesi'nin kesişiminde bulunan Camçeşme ve Fevzi Çakmak Mahallelerinde konumlanmış konut yapılarının acil olarak kaldırılması ya da çok ciddi gürültü yalıtımı uygulanması gerekmektedir. Zira, burada bulunan konut yapıları 75-85 dBA arası gece uçak gürültüsüne maruz kalmaktadırlar ve bu değerler insan sağlığı için gerekli olan ideal gürültü sınır değerlerinin çok ötesindedir. Tuzla ilçe sınırı içerisinde kalan ve Sabancı Üniversitesi kampüsünü de içine alan Orhanlı Mahallesi ile Aydınlı, Mimar Sinan, Piyale Okulu, Şifa Mahallelerinde bulunan yapıların büyük ölçüde 50 dBA ve altındaki gürültü bölgelerinde konumlandıkları gözlenmekle birlikte çok az

bir kısmının 50-60 dBA arasındaki uçak gürültüsüne maruz kaldığı elde edilen haritalara bakılarak söylenebilir.

İlçe belediyelerinden alınan bilgiler doğrultusunda, Pendik İlçesinin 625.797 ve Tuzla ilçesinin 197.657 nüfus sayıları, simülasyon programı aracılığı ile gürültü bölgelerine dağıtılmıştır. Bu bağlamda, Çevre ve Orman Bakanlığı'nın Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği'nde belirlenen Lgündüz sınır değeri 68 dBA'yı aşan gürültü bölgelerinde kalan konut sayısı 497 yani harita alanındaki konut sayılarının %8'i iken yine aynı sınır değerini aşan yerlerdeki nüfus sayısı 6323 yani her iki ilçenin toplam nüfusunun %14'üdür. Okul ve hastane gibi gürültüye hassas yapılar için belirlenen 65 dBA Lgündüz değerini alan bölgelerdeki okul sayısı 1'dir ve bu bölgeler içerisinde hastane yapısının yer almadığı tespit edilmiştir. Yönetmelikte uçak gürültüsü için belirlenmiş olan 63 dBA Lakşam sınır değerini aşan yerlere bakıldığında, sınır değerinin üzerinde gürültüden etkilenen nüfus sayısı 8222 yani haritalama alanındaki toplam nüfusun %16'sıdır. Yine aynı sınır değeri baz alınarak konut sayısı hesaplandığında, sınır değerini aşan bölgede bulunan konut oranı %18, konut sayısı 1381'dir. Hassas kullanımı olan yapılar için belirlenen 60 dBA akşam gürültüsünü aşan bölgede 6 adet okul binası bulunmaktadır ki bu da mevcut okul yapılarının %29'unu oluşturmaktadır. İlgili yönetmelikte gece gürültüsü sınır değerlerine bakıldığında konut yapıları için belirlenen değer 58 dBA iken hassas kullanımlı yapılar için bu değer 55 dBA'dır. Sınır değerleri baz alınarak yapılan haritalama çalışmalarından elde edilen veriler incelendiğinde, gece gürültüsü sınır değerini aşan konut sayısının 1322 yani bölgedeki toplam konut sayısının %32'si olduğu gözlemlenmiştir. Aynı sınır değeri için, sınırı aşan nüfus sayısı 7889 yani bölgedeki toplam nüfusun %25'idir. Yönetmelikte belirtilen sınır değerini aşan nüfus oranının bölgenin toplam nüfusunun 4'te 1'i olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Bu da bölgede, gece gürültüsünden etkilenen nüfus oranının ciddiyetini gözler önüne sermektedir. Gürültüye hassas yapılardan okul yapıları, gece gürültüsü ölçümlerinde göz ardı edilmiş, hastane yapılarının ise sınır değerini aşan bölgelerde konumlanmamış oldukları tespit edilmiştir. Genel bir değerlendirme olarak, haritalama çalışması sırasında 50 dBA ve üzerindeki uçak gürültüsüne maruz kalan alanlar incelenmiş ve Lgag çalışmasında 41.855 kişinin 55 dBA ve üzerinde gürültüye maruz kaldığı sonucu elde edilmiştir.

Yapılan araştırmalar, toplanan veriler, ve gürültü haritalama çalışmaları sonucunda elde edilen sonuçlara göre yapılan değerlendirmeler aşağıdaki verilmiştir:

- Yoğun hava trafiğine ev sahipliği yapan Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı, çevresinde bulunan yapılar için ciddi bir gürültü problemi oluşturmaktadır.
- Havalimanı çevresinde oldukça büyük bir alana yayılmış olan fabrikalar ve şehrin ana arterlerinden olan karayolları da hesaba katılarak stratejik gürültü haritaları oluşturulmalıdır.
- Havalimanı gibi ciddi gürültü üreten yapılar inşa edilmeden önce gürültü çalışmaları yapılmalı, evre sakinleri için en uygun noktaya konumlandırılmalıdır.
- Bölge, yeni yerleşimlere açık bir alan olduğu için arazi kullanım planlamasında gürültü tahminleri göz önünde bulundurulmalıdır. Yönetmelikte, gündüz, akşam ve gece için belirlenen sınır değerlerini aşan bölgelerde kesinlikle yapılaşma izni verilmemelidir.
- Havalimanı çevresindeki bina yükseklikleri gürültü çalışmaları da göz önünde bulundurularak düzenlenmelidir.
- Hali hazırda kullanılan Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı için evre sakinlerinin gürültüye en hassas olduğu gece saatleri içerisindeki uçuş saatlerinde düzenlemeler yapılmalıdır.
- Özellikle pist çevresine yakın konumlanmış yapılarda bulunan sakinlerin gürültüden etkilenmesini önlemek için pist çevrelerine bariyer vb. engel uygulamaları yapılmalı, binalarda kay yüksekliklerine dikkat edilmelidir. Binalarda olması gereken kat yüksekliklerinin belirlenebilmesi için cephe gürültüsü çalışması yapılmalıdır.
- Yerel yönetimler, 'gürültü' konusuna olan hassasiyeti arttırmalı ve çözüm odaklı çalışmalar gerçekleştirmelidir.





## KAYNAKLAR

- Aşçıgil, M.**, 2009: *Karayolu Gürültü Haritalarının Hazırlanması: İstanbul Zincirlikuyu-Maslak Ulaşım Hattı Örneği*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- ANSI S1.1**, 1994: Acoustical Terminology, *American National Standard*, USA.
- Bentles F. M., Heleno T. A. ve Slama J. G.**, 2012: Analysis of Airport Noise Exposure Around Viracopos International Airport Using Geographic Information Systems, *Journal of Air Transport Management*, Elsevier.
- Bozkurt N., Sarı D., Akdağ A., Kütükoğlu M. ve Gürarlan A.**, 2013: Modeling of Noise Pollution and Estimated Human Exposure Around Istanbul Ataturk Airport in Turkey, *Science of The Total Environment*, Elsevier.
- CFR 150**, 2004: Minneapolis-St Paul International Airport, *14 Code of Federal Regulations*, Minnesota.
- Crocker, M.**, 1998: *Handbook of Acoustics*, John Wiley & Sons Inc., Kanada.
- Cunniff, P. F.**, 1977: *Environmental Noise Pollution*, John Wiley & Sons Inc., New York.
- Çevre ve Orman Bakanlığı**, 2010: *Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği*, Ankara.
- Çevre ve Orman Bakanlığı**, 2011: *Çevresel Gürültünün Ölçüm ve Değerlendirme Klavuzu*, Ankara.
- Demirkale, S. Y.**, 2007: *Çevre ve Yapı Akustiği*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Demirkale, S. Y.**, 1990: *Uçakların Yerden Kalkış Zamanları Sırasında Gürültü Konturlarının Saptanması İçin Atatürk Havaalanı Çevresinde Bir Uygulama Çalışması*, İstanbul Teknik Üniversitesi Araştırma Fonu, İstanbul.
- Demirkale, S.Y.**, 1994: *At Istanbul Atatürk Airport Measurement and Analysis of Noise in Due of Take Off Time*, Proceeding of Noise-Con 94, Department of Ocean Engineerind, Florida Atlantic University, USA.
- Demirkale, S.Y.**, 1994: *Meteorolojik Faktörlere Bağlı Olarak Uçakların Farklı Yöne Kalkış Yapmaları Durumlarında Atatürk Havaalanı Çevresinde Gürültü Konturlarının Karşılaştırılması*, İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- Demirkale, S.Y.**, 1994: *Noise Contours Surrounding Atatürk Airport Due to Run-up Operations of The Airplanes*, Proceedings of the 1994 International Congress on Noise Control, Engineering Inter-Noise 94, Yokohama, Japan.

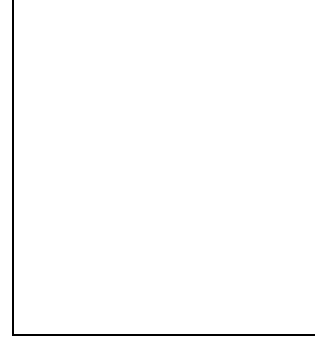
- Demirkale, S.Y.**, 1994: The Comparison of Noise Contours Around Airport Due to Run-up Operations Under the Conditions of Aircrafts Taking Off at Different Directions, Proceedings of Third International Congress on Air and Structure Borne Sound and Vibration, Montreal, Kanada.
- Demirkale, S.Y.**, 1996: A Model for Determinin Excess Attenuation in Upwind Zones and a Sample of Its Implementation at Atatürk Airport, Architectural Science Review, Vol. 39, no.2.
- Demirkale, S.Y.**, 1996: The Measurement and Analysis of the Noise Caused by Run-up Operations at Atatürk Airport, Architectural Science Review, vol.39, no.1.
- Dinç, S.**, 1986: *Havalimanı Çevresinde Arazi Kullanım Planlaması İçin Uçak Gürültü Ölçütlerinin Saptanmasında Kullanılabilecek Bir Yöntem*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- ECAC.CEAC Doc 29**, 1997: Report on Standard Method of Computing Noise Contours Noise Contorus Around Civil Airports, *European Civil Aviation Conference*, France.
- Envia, E.**, 2001: Fan Noise Reduction: An Overview, 39th Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, January 8-11, Nevada.
- ESA Airports**, 2009: Noise Mitigation Evaluation: Knedall-Tamiami Executive Airport.
- Everest, F.**, 2001: The Master Handbook of Acoustics, The Mc Graw-Hill Companies Inc., USA.
- FAA 150-5020/1**, 1983: Noise Control and Compability Planning for Airports, *Federal Aviation Administration*, USA.
- Filippone, A.**, 2014: Aircraft Noise Prediction, Progress in Aerospace Science, Elsevier.
- Ganz U. W., Joppa P. D., Pattern T. J. ve Scharpf D. F.**, 1988: Boeing 18-inch Fan Rig Boardband Test, Technical Report, NASA.
- Google Earth**, 2014: Sabiha Gökçen Uluslararası Havalimanı Uydu Fotoğrafları
- ICAO Doc 9911**, 2008: Recommended Method for Computing Noise Contours Around Airports, *International Civil Aviation Organization*, Kanada.
- Ignaccolo, M.**, 2000: *Environmental Capacity-Noise Pollution at Catania-Fontanarossa International Airport*, Istituto di Strade Ferrovie Aeroporti, Faculty of Engineering, University of Catania, Italy.
- Lee J., Edmonds L. ve Patel J.**, 2013: Strategic Noise Maps for Heathrow Airport 2011, Civil Aviation Authority, England.
- Lilley, G.**, 2000: *The Prediction of airframe Noise and Comparison with Experiment*, Penn State University, Pennsylvania.
- Lockard, D.**, 2004: The Airframe Noise Reduction Challenge, Langley Research Center, Virginia.
- Medrano, P. G.**, 2012: *Noise Contour Calculation From Measured Data*, Intituto Superior Tecnico, Universidade Tecnica, Lizbon.

- Mitchell D., Ekstrand H., Prats X. ve Grönstedt T.,** 2012: An Environmental Assessment of Air Traffic Speed Constraints in The Departure Phase of Flight-A Case Study at Gothenburg Landvetter airport, Transportation Research Part D, Elsevier.
- More, S. R.,** 2011: *Aircraft Noise Characteristics and Metrics*, The Partnership for Air Transportation Noise and Emissions Reduction Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Pietrzko S. ve Hofmann R. F.,** 1987: Prediction of A-Weighted Aircraft Noise Based on Measured Directivity Patterns, Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research, Switzerland.
- Port of Oakland,** 2006: Aircraft Noise-Oakland International Airport Master Plan, California.
- Sadr M. K., Nassiri P., Hosseini M. ve Monavari A. G.,** 2013: Assessment of Land Use Compatibility and Noise Pollution at Imam Khomeini International Airport, Journal of Air Transport Management, Elsevier.
- Sarı D., Hamamcı S. F., Akdağ A., Kütükoğlu M. ve Özkurt N.,** 2013: Havalimanlarında Gürültü Haritalama Çalışmaları-Türkiye'den Örnekler, 10. Ulusal Akustik Kongresi, Aralık 16-17, İstanbul.
- Smith, M.,** 1989: Aircraft Noise, Press Syndicate of The University of Cambridge, New York.
- United Airlines,** 1972: *Noise*, < <http://adg.stanford.edu/aa241/noise/noise.html> >, alındığı tarih: 30.12.2013
- Yan H., Wang N., Wei L. ve Fu Q.,** 2013: Comparing Aircraft Noise Pollution and Cost-Risk Effects of Inland and Offshore Airports-The Case of Dalian International Airport/Dalian-China, Transportation Research Part D, Elsevier.
- Yılmaz, S.,** 1979: *Uçak Gürültüsünün Kontrol Altına Alınması Amacıyla Yeşilköy Havalimanı Çevresinde Yerleşme Sınırlarının Belirlenmesi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, M.M.L.S. Bitirme Tezi, İstanbul.
- Zaporozhets O., Tokarev V. ve Attenborough K.,** 2011: Aircraft Noise, Spon Press, New York.
- URL-1** <[http://en.wikipedia.org/wiki/Aircraft\\_noise](http://en.wikipedia.org/wiki/Aircraft_noise)>, alındığı tarih: 25.12.2013.
- URL-2** <<http://www.refine.com/referatshow-1241-1.html>>, alındığı tarih: 25.12.2013.
- URL-3** <<http://radio-scanner-guide.com/RadioScannerGuidePart3C-CivilAircraft.html>> , alındığı tarih: 02.01.2014.
- URL-4** < [http://flyquietoak.com/\\_source/pdf/aircraft\\_noise\\_fundamentals.pdf](http://flyquietoak.com/_source/pdf/aircraft_noise_fundamentals.pdf)>, alındığı tarih: 10.01.2014.
- URL-5** < [http://en.wikipedia.org/wiki/Antalya\\_Airport](http://en.wikipedia.org/wiki/Antalya_Airport)>, alındığı tarih: 19.03.2014.
- URL-6** < [http://en.wikipedia.org/wiki/Ferit\\_Melen\\_Airport](http://en.wikipedia.org/wiki/Ferit_Melen_Airport)>, alındığı tarih: 22.03.2014.
- URL-7** < <http://airportnoiselaw.org>>, alındığı tarih: 05.02.2014.

**URL-8** < [http://en.wikipedia.org/wiki/Imam\\_Khomeini\\_International\\_Airport](http://en.wikipedia.org/wiki/Imam_Khomeini_International_Airport)>, alındığı tarih: 25.03.2014.

**URL-9** < [http://en.wikipedia.org/wiki/Viracopos\\_International\\_Airport](http://en.wikipedia.org/wiki/Viracopos_International_Airport)>, alındığı tarih: 25.03.2014.

## ÖZGEÇMİŞ



**Ad Soyad:** Oya KESKİN  
**Doğum Yeri ve Tarihi:** 04.08.1988  
**Adres:** İstanbul Kültür Üniversitesi – Mimarlık Fakültesi  
**E-Posta:** oyakskn@gmail.com / o.keskin@iku.edu.tr  
**Lisans:** İstanbul Teknik Üniversitesi – Mimarlık Bölümü  
(Mezuniyet Yılı: 2011)