

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK GERİLİMDE KISMİ BOŞALMA OLAYLARININ FARKLI BASINÇ  
VE GERİLİM DEĞERLERİNE BAĞLI OLARAK İSTATİSTİKSEL ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Büşra YILDIZ**

**Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Elektrik Mühendisliği Programı**

**MAYIS 2018**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK GERİLİMDE KISMİ BOŞALMA OLAYLARININ FARKLI BASINÇ  
VE GERİLİM DEĞERLERİNE BAĞLI OLARAK İSTATİSTİKSEL ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Büşra YILDIZ  
(504081038)**

**Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Elektrik Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Şükran Emel ÖNAL**

**MAYIS 2018**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504081038 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Büşra YILDIZ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “YÜKSEK GERİLİMDE KISMİ BOŞALMA OLAYLARININ FARKLI BASINÇ VE GERİLİM DEĞERLERİNE BAĞLI OLARAK İSTATİSTİKSEL ANALİZİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :**      **Prof. Dr. Şükran Emel ÖNAL** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :**      **Prof. Dr. Şahin Serhat Şeker** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Doç. Dr. Gökhan Gökmen** .....  
Marmara Üniversitesi

**Teslim Tarihi**      :    **03 Mayıs 2018**  
**Savunma Tarihi**    :    **04 Haziran 2018**





*Kendime,*



## ÖNSÖZ

Tez çalışmamda ve öncesinde her zaman desteğini ve inancını hissettiren, gerek bilgi ve tecrübesiyle, gerekse yüksek insanî vasıflarıyla yol gösterici ve örnek olan saygıdeğer danışmanım Prof. Dr. Şükran Emel ÖNAL' a ve çalışmam süresince bilgisiyle yoluma ışık tutan saygıdeğer hocam, İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Dekanı Prof. Dr. Şahin Serhat ŞEKER' e derin minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2018

Büşra Yıldız  
(Elektrik Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ .....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET .....	xxi
SUMMARY .....	xxiii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı .....	1
1.2 Literatür Araştırması .....	1
1.3 Hipotez .....	2
<b>2. KISMİ BOŞALMA .....</b>	<b>3</b>
2.1 Kısmi Boşalmanın Sınıflandırılması .....	3
2.1.1 Korona.....	3
2.1.2 İç kısmi boşalma .....	4
2.1.3 Yüzeysel boşalma .....	5
2.1.4 Elektriksel ağaçlanma .....	5
2.2 Kısmi Boşalmanın Önemi .....	6
2.3 Kısmi Boşalmaya Etki Eden Faktörler.....	6
2.4 Kısmi Boşalmanın Ölçülmesi.....	7
2.4.1 IEC 60270' e göre KB ölçümü .....	8
2.4.2 KB ölçümünde yalıtım malzemesinin etkisi .....	9
2.4.3 KB ölçümünde gerilimin etkisi .....	11
2.4.4 KB ölçümünde frekansın etkisi.....	12
2.4.5 KB ölçümünde gürültünün etkisi .....	12
2.4.6 Transformatörlerde KB ölçümü .....	17
2.4.7 Orta gerilim hücrelerinde KB ölçümü .....	19
2.4.8 Yüksek gerilim motorlarında KB ölçümü.....	20
2.4.9 Yüksek gerilim generatörlerinde KB ölçümü .....	20
<b>3. İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER.....</b>	<b>21</b>
3.1 Aritmetik Ortalama .....	21
3.2 Standart Sapma.....	21
3.3 Çarpıklık.....	22
3.4 Basıklık.....	22
3.5 Korelasyon .....	23

<b>4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>25</b>
4.1 Kısmi Boşalma Ölçüm Düzenegi .....	25
4.2 Kısmi Boşalma Ölçüm Grafikleri.....	29
4.2.1 1 bar basınç altında kaydedilen ölçümler .....	29
4.2.2 2 bar basınç altında kaydedilen ölçümler .....	37
4.2.3 3 bar basınç altında kaydedilen ölçümler .....	47
4.2.4 Farklı basınçlarda aynı gerilim seviyeleri için kaydedilen ölçümler .....	55
<b>5. VERİLERİN İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRİLMESİ .....</b>	<b>57</b>
5.1 Histogramlar ve Analizleri .....	57
5.2 İstatistiksel Grafikler ve Analizleri .....	62
5.2.1 Gerilim- basıklık grafiği.....	62
5.2.2 Gerilim- çarpıklık grafiği .....	65
5.2.3 Gerilim- ortalama grafiği .....	68
5.2.4 Gerilim- standart sapma grafiği.....	71
5.3 Korelasyon Katsayıları ve Analizleri .....	73
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>77</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>81</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>85</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>101</b>

## KISALTMALAR

<b>N<sub>2</sub></b>	: Azot
<b>SF<sub>6</sub></b>	: Sülfür Hegza Florür
<b>USB</b>	: Fiber Optik Bus Denetleyici
<b>mm</b>	: Milimetre
<b>kV</b>	: Kilo (10 <sup>3</sup> ) Volt
<b>PD</b>	: Partial Discharge
<b>µs</b>	: Mikro (10 <sup>-6</sup> ) Saniye
<b>pC</b>	: Piko (10 <sup>-12</sup> ) Coulomb
<b>YG</b>	: Yüksek Gerilim
<b>KB</b>	: Kısmi Boşalma
<b>XLPE</b>	: Cross Linked Polyethylene
<b>IEC</b>	: Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
<b>E</b>	: Elektrik Alan Şiddeti
<b>E<sub>d</sub></b>	: Delinme Alan Şiddeti
<b>C</b>	: Coulomb
<b>THB</b>	: Toplam Harmonik Bozulma
<b>Hz</b>	: Herz
<b>Q</b>	: Kısmi Boşalmanın Genliği
<b>Φ</b>	: Kısmi Boşalmanın Faz Açısı
<b>PE</b>	: Polietilen
<b>GIS</b>	: Gaz Yalıtımlı Sistem
<b>EM</b>	: Elektro Manyetik
<b>AA</b>	: Alternatif Akım
<b>ART</b>	: Uygulanabilir Rezonans Teorisi
<b>ÇGA</b>	: Çözülmüş Gaz Analizi
<b>ASSA</b>	: Arşimedyen Sinüsoidal Spiral Anten



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

<b>Çizelge 4.1</b> : 1 bar 8.2 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı.....	<b>29</b>
<b>Çizelge 4.2</b> : 1 bar 10.2 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı.....	<b>30</b>
<b>Çizelge 4.3</b> : 1 bar 12 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı.....	<b>30</b>
<b>Çizelge 4.4</b> : 1 bar 15.6 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı.....	<b>31</b>
<b>Çizelge 4.5</b> : 1 bar 18.3 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı.....	<b>31</b>
<b>Çizelge 4.6</b> : 2 bar 10.93 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı...	<b>37</b>
<b>Çizelge 4.7</b> : 2 bar 12.39 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı...	<b>38</b>
<b>Çizelge 4.8</b> : 2 bar 13.62 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı...	<b>38</b>
<b>Çizelge 4.9</b> : 2 bar 15.38 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı...	<b>39</b>
<b>Çizelge 4.10</b> : 2 bar 18.47 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı.	<b>39</b>
<b>Çizelge 4.11</b> : 2 bar 20.24 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı..	<b>40</b>
<b>Çizelge 4.12</b> : 3 bar 13.54 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı..	<b>47</b>
<b>Çizelge 4.13</b> : 3 bar 15.5 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı...	<b>47</b>
<b>Çizelge 4.14</b> : 3 bar 16.75 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı..	<b>48</b>
<b>Çizelge 4.15</b> : 3 bar 18.94 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı..	<b>48</b>
<b>Çizelge 4.16</b> : 3 bar 20.54 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı..	<b>49</b>
<b>Çizelge 5.1</b> : Tüm ölçümlerin basınçlara göre korelasyon katsayıları.....	<b>74</b>
<b>Çizelge 5.2</b> : Yüksek değerli ölçümlerin basınçlara göre korelasyon katsayıları.....	<b>74</b>
<b>Çizelge5.3</b> : Gerilim değerlerine göre yüksek değerli ölçümlerin korelasyon katsayıları.....	<b>75</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Korona olayı. ....	4
Şekil 2.2 : Katı yalıtkanlardaki boşluğun fiziksel modeli. ....	4
Şekil 2.3 : Yüzeysel boşalma.....	5
Şekil 2.4 : PE yalıtıkandaki tipik elektriksel ağaçlanmalar a) fırça tipi b) ağaç tipi. ...	5
Şekil 2.5 : Vakumlu kesicinin yapısı. ....	11
Şekil 2.6 : 15mm boşluk ve 30µm çaplı sivri uçlu elektrot sistemlerinde KB darbelerinin a) hava yalıtımlı b) SF6 yalıtımlı olması durumunda gerilim değişimlerine yanıtı.....	11
Şekil 2.7 : Farklı KB tiplerinde yüksek/düşük frekans - KB bağıntısı.....	12
Şekil 2.8 : Farklı özellikteki tesislerde a) açık hava tipi b) açık hava tipi gaz yalıtımlı c) yer altı gaz yalıtımlı ölçülen EM dalga spektrumu.....	13
Şekil 2.9 : Faz kontrol yöntemi olmaksızın a) AC pozitif ve negatif yarı periyotlar ve faz kontrol yöntemi ile b) AC pozitif yarı periyotlar c) AC negatif yarı periyotlar için yapılan EM dalga spektrumu ölçümleri. ....	14
Şekil 2.10 : Sınıflandırma için kullanılan hiyerarşik yapı. ....	15
Şekil 2.11 : a) Sivri uçlu elektrot ve b) hava boşluğu kaynaklı KB' lerin EM dalga şekilleri .....	18
Şekil 2.12 : a) Dizayn edilmiş ve b) üretilmiş tek kollu ASSA örnekleri. ....	19
Şekil 2.13 : KB sinyallerinin zaman domeninde gösterimi.....	19
Şekil 2.14 : YG generatörlerinin arıza istatistikleri.....	20
Şekil 3.1 : Seri dağılımlarının a) sola çarpık b) simetrik c) sağa çarpık olması. ....	22
Şekil 3.2 : Seri dağılımlarının basıklık durumu.....	23
Şekil 3.3 : Seri dağılımlarının a) pozitif güçlü b) pozitif zayıf c) negatif güçlü d) negatif zayıf korelasyonlu olması. ....	24
Şekil 4.1 : Kısmi boşalma ölçme devresi. ....	25
Şekil 4.2 : Deney ortamının genel görünüşü.. ....	26
Şekil 4.3 : 50 Hz, 175 kVA, 0,5 / 350 kV' luk deney transformatörü.....	26
Şekil 4.4 : 100 pF – 1 nF arasında ayarlanabilen kuplaj kapasitörü.....	27
Şekil 4.5 : Deney cisminin olduğu kap.....	27
Şekil 4.6 : MCU 502 ve MPD 5400 ile bağlantısı.....	27
Şekil 4.7 : Çubuk elektrot.....	28

<b>Şekil 4.8 :</b> Çubuk ve düzlem elektrottan oluşan deney cismi .....	<b>28</b>
<b>Şekil 4.9 :</b> 1 bar 8.2 kV' ta kaydedilen 6 870 adet ölçüme göre KB' lerin dağılım grafiği.....	<b>32</b>
<b>Şekil 4.10 :</b> 1 bar 10.2 kV' ta kaydedilen 15 404 adet ölçüme göre KB' lerin dağılım grafiği.....	<b>33</b>
<b>Şekil 4.11 :</b> 1 bar 12 kV' ta kaydedilen 16 084 adet ölçüme göre KB' lerin dağılım grafiği.....	<b>34</b>
<b>Şekil 4.12 :</b> 1 bar 15.6 kV' ta kaydedilen 8 019 adet ölçüme göre KB' lerin dağılım grafiği.....	<b>35</b>
<b>Şekil 4.13 :</b> 1 bar 18.3 kV' ta kaydedilen 11 872 adet ölçüme göre KB' lerin dağılım grafiği.....	<b>36</b>
<b>Şekil 4.14 :</b> 2 bar 10.93 kV' ta kaydedilen 8 559 adet ölçüme göre KB' lerin dağılım grafiği.....	<b>41</b>
<b>Şekil 4.15 :</b> 2 bar 12.39 kV' ta kaydedilen 6 881 adet ölçüme göre KB' lerin dağılım grafiği.....	<b>42</b>
<b>Şekil 4.16 :</b> 2 bar 13.62 kV' ta kaydedilen 8 285 adet ölçüme göre KB' lerin dağılım grafiği.....	<b>43</b>
<b>Şekil 4.17 :</b> 2 bar 15.38 kV' ta kaydedilen 5 164 adet ölçüme göre KB' lerin dağılım grafiği.....	<b>44</b>
<b>Şekil 4.18 :</b> 2 bar 18.47 kV' ta kaydedilen 3 351 adet ölçüme göre KB' lerin dağılım grafiği.....	<b>45</b>
<b>Şekil 4.19 :</b> 2 bar 20.24 kV' ta kaydedilen 6 921 adet ölçüme göre KB' lerin dağılım grafiği.....	<b>46</b>
<b>Şekil 4.20 :</b> 3 bar 13.54 kV' ta kaydedilen 11 950 adet ölçüme göre KB' lerin dağılım grafiği.....	<b>50</b>
<b>Şekil 4.21 :</b> 3 bar 15.5 kV' ta kaydedilen 5 298 adet ölçüme göre KB' lerin dağılım grafiği.....	<b>51</b>
<b>Şekil 4.22 :</b> 3 bar 16.75 kV' ta kaydedilen 7 162 adet ölçüme göre KB' lerin dağılım grafiği.....	<b>52</b>
<b>Şekil 4.23 :</b> 3 bar 18.94 kV' ta kaydedilen 10 752 adet ölçüme göre KB' lerin dağılım grafiği.....	<b>53</b>
<b>Şekil 4.24 :</b> 3 bar 20.54 kV' ta kaydedilen 3 711 adet ölçüme göre KB' lerin dağılım grafiği.....	<b>54</b>
<b>Şekil 4.25 :</b> 1 bar, 2 bar ve 3 bar basınçlarda 15 kV gerilimde kaydedilen KB' lerin dağılım grafiği.....	<b>55</b>
<b>Şekil 4.26 :</b> 1 bar, 2 bar ve 3 bar basınçlarda 18 kV gerilimde kaydedilen KB' lerin dağılım grafiği.....	<b>56</b>
<b>Şekil 5.1 :</b> 1 bar 12 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.....	<b>58</b>
<b>Şekil 5.2 :</b> 1 bar 12 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.....	<b>58</b>

<b>Şekil 5.3 :</b> 1 bar 12 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı..	<b>59</b>
<b>Şekil 5.4 :</b> 1 bar 12 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı..	<b>59</b>
<b>Şekil 5.5 :</b> 2 bar 12 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı..	<b>60</b>
<b>Şekil 5.6 :</b> 2 bar 12 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı..	<b>60</b>
<b>Şekil 5.7 :</b> 2 bar 12 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı..	<b>61</b>
<b>Şekil 5.8 :</b> 2 bar 12 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı..	<b>61</b>
<b>Şekil 5.9 :</b> Delta t zaman aralığının gerilime bağlı basıklık değişimi.....	<b>63</b>
<b>Şekil 5.10 :</b> Kısmi boşalmanın gerilime bağlı basıklık değişimi.....	<b>63</b>
<b>Şekil 5.11:</b> Yüksek değerler için delta t zaman aralığının gerilime bağlı basıklık değişimi.....	<b>64</b>
<b>Şekil 5.12:</b> Yüksek değerler için kısmi boşalmanın gerilime bağlı basıklık değişimi.....	<b>64</b>
<b>Şekil 5.13 :</b> Delta t zaman aralığının gerilime bağlı çarpıklık değişimi... ..	<b>66</b>
<b>Şekil 5.14 :</b> Kısmi boşalmanın gerilime bağlı çarpıklık değişimi.. ..	<b>66</b>
<b>Şekil 5.15:</b> Yüksek değerler için delta t zaman aralığının gerilime bağlı çarpıklık değişimi.....	<b>67</b>
<b>Şekil 5.16:</b> Yüksek değerler için kısmi boşalmanın gerilime bağlı çarpıklık değişimi.....	<b>67</b>
<b>Şekil 5.17 :</b> Delta t zaman aralığının gerilime bağlı ortalama değer değişimi... ..	<b>68</b>
<b>Şekil 5.18 :</b> Kısmi boşalmanın gerilime bağlı ortalama değer değişimi.....	<b>69</b>
<b>Şekil 5.19:</b> Yüksek değerler için delta t zaman aralığının gerilime bağlı ortalama değer değişimi.....	<b>69</b>
<b>Şekil 5.20:</b> Yüksek değerler için kısmi boşalmanın gerilime bağlı ortalama değer değişimi.....	<b>70</b>
<b>Şekil 5.21 :</b> Delta t zaman aralığının gerilime bağlı standart sapma değişimi... ..	<b>71</b>
<b>Şekil 5.22 :</b> Kısmi boşalmanın gerilime bağlı standart sapma değişimi.....	<b>72</b>
<b>Şekil 5.23:</b> Yüksek değerler için delta t zaman aralığının gerilime bağlı standart sapma değişimi.. ..	<b>72</b>
<b>Şekil 5.24:</b> Yüksek değerler için kısmi boşalmanın gerilime bağlı standart sapma değişimi.....	<b>73</b>
<b>Şekil A.1 :</b> 1 bar 15 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı. ...	<b>85</b>
<b>Şekil A.2 :</b> 1 bar 15 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı. ...	<b>85</b>

<b>Şekil A.3 :</b> 1 bar 15 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı. ....	<b>86</b>
<b>Şekil A.4 :</b> 1 bar 15 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı. ....	<b>86</b>
<b>Şekil A.5 :</b> 2 bar 15 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı. ....	<b>87</b>
<b>Şekil A.6 :</b> 2 bar 15 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı. ....	<b>87</b>
<b>Şekil A.7 :</b> 2 bar 15 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı. ....	<b>88</b>
<b>Şekil A.8 :</b> 2 bar 15 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı. ....	<b>88</b>
<b>Şekil A.9 :</b> 3 bar 15 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı. ....	<b>89</b>
<b>Şekil A.10 :</b> 3 bar 15 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı. ....	<b>89</b>
<b>Şekil A.11 :</b> 3 bar 15 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı. ....	<b>90</b>
<b>Şekil A.12 :</b> 3 bar 15 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı. ....	<b>90</b>
<b>Şekil A.13 :</b> 1 bar 18 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı. ....	<b>91</b>
<b>Şekil A.14 :</b> 1 bar 18 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı. ....	<b>91</b>
<b>Şekil A.15 :</b> 1 bar 18 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı. ....	<b>92</b>
<b>Şekil A.16 :</b> 1 bar 18 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı. ....	<b>92</b>
<b>Şekil A.17 :</b> 2 bar 18 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı. ....	<b>93</b>
<b>Şekil A.18 :</b> 2 bar 18 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı. ....	<b>93</b>
<b>Şekil A.19 :</b> 2 bar 18 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı. ....	<b>94</b>
<b>Şekil A.20 :</b> 2 bar 18 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı. ....	<b>94</b>
<b>Şekil A.21 :</b> 3 bar 18 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı. ....	<b>95</b>
<b>Şekil A.22 :</b> 3 bar 18 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı. ....	<b>95</b>
<b>Şekil A.23 :</b> 3 bar 18 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı. ....	<b>96</b>

<b>Şekil A.24</b> : 3 bar 18 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı. ....	<b>96</b>
<b>Şekil A.25</b> : 2 bar 20 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.....	<b>97</b>
<b>Şekil A.26</b> : 2 bar 20 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı. ....	<b>97</b>
<b>Şekil A.27</b> : 2 bar 20 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı. ....	<b>98</b>
<b>Şekil A.28</b> : 2 bar 20 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı. ....	<b>98</b>
<b>Şekil A.29</b> : 3 bar 20 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı. ....	<b>99</b>
<b>Şekil A.30</b> : 3 bar 20 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı. ....	<b>99</b>
<b>Şekil A.31</b> : 3 bar 20 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı. ....	<b>100</b>
<b>Şekil A.32</b> : 3 bar 20 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı. ....	<b>100</b>



# YÜKSEK GERİLİMDE KİSMİ BOŞALMA OLAYLARININ FARKLI BASINÇ VE GERİLİM DEĞERLERİNE BAĞLI OLARAK İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

## ÖZET

Yüksek gerilim, enerji sistemlerinin çalışmasında son derece önemli bir yere sahiptir. Gerek enerjinin üretimi ve iletimi, gerekse enerji kayıplarının minimize edilmesi yüksek gerilimle mümkün olmaktadır.

Yüksek gerilim sistemlerinin kurulumu, hem ekipmanların maliyeti ve sistem içerisindeki kilit noktalara sahip olmaları (transformatör, orta gerilim hücresi, iletim hattı gibi ekipmanlar olmaları) hem de potansiyel güvenlik riskleri açısından çok ciddi dikkat ve profesyonellik gerektiren bir konudur.

Yüksek gerilimin yukarıda bahsettiğimiz avantajları ve de aynı zamanda riskleri, elektrik mühendisleri olarak bizleri bu alandaki dezavantajları araştırmaya ve çözümler üreterek riskleri en aza indirmek yolunda çalışmaya itmiştir.

Yüksek gerilimde karşılaşılan arızalar, araştırma alanı geniş mühendislik konularından birisidir. Kısmi boşalmalar da bu arızalardan biri ve en özgün karakteristik değerlere sahip olanıdır.

Kısmi boşalma olayları, elektriksel sistemlerin yalıtım bölgelerinde meydana gelen ve tam olarak gerçekleşmeyen boşalma olaylarıdır. Kısmi boşalma olayları sonucunda yalıtım malzemelerinin tamamı veya bir kısmında oluşan arızalar, sistemin tamamını etkileyen ve işletmenin kesintisiz çalışmasını da engelleyebilen durumlardır. Kısmi boşalma olayları bu sebeplerle bu tezin çalışma konusunu oluşturmuştur.

Yapılan bu tez çalışmasında, Stuttgart Üniversitesi Enerji İletimi ve Yüksek Gerilim Teknolojisi Enstitüsü Yüksek Gerilim Laboratuvarı'nda % 99 oranında N<sub>2</sub> gazı ve % 1 oranında SF<sub>6</sub> gazı ile 1 bar, 2 bar ve 3 bar basınçlar altında yapılmış olan ölçümler analiz edilmiştir. İnceleme yapılan gerilim seviyeleri, kısmi boşalma sinyallerinin ortaya çıkmaya başladığı 12 kV' tan başlatılmıştır. Ayrıca, tüm basınç değerleri için alınan ölçümler de grafikler halinde verilmiştir.

Ölçümler, Omicron markasının MPD 5400 model cihazı ile kaydedilmiş ve yine Omicron markasının MCU 502 model fiber optik bus denetleyicisi (USB) ile kaydedilmiş olan optik sinyaller elektrik sinyallerine çevrilmiştir.

Yapılan ölçümler hem basınç hem de gerilim etkisi yönüyle incelenmek istenmiş, bu amaçla basınç ve gerilim bazında istatistiksel değerler (ortalama değer, standart sapma, çarpıklık, basıklık ve korelasyon katsayıları) hesaplanmıştır. Hesaplanan istatistiksel değerler son bölümde yorumlanmış ve tartışılmıştır. Analizlerin daha kesin sonuçlar ortaya koyabilmesi için çok daha fazla parametre ile deneylerin ve incelemelerin tekrarlanması gerekmektedir.



# **STATISTICAL ANALYSIS OF PARTIAL DISCHARGES DEPENDING ON DIFFERENT PRESSURE AND VOLTAGE RATES IN HIGH VOLTAGE TECHNIQUE**

## **SUMMARY**

High voltage has a very important role in power systems; not only for energy supply and transmission, but also it is necessary to minimize huge power losses.

Installation of high voltage systems needs very excessive attention and professionalism due to high level costs of equipments and potential security risks.

We, as electrical engineers, have decided to make researches about high voltage systems because of these advantages and risks as well. Because these features make them extremely important.

Faults in high voltage systems are needed to be widely examined and one of them is partial discharges (PD). Partial discharges have very distinctive features.

Partial discharges occur in insulation systems of electrical systems and can not be come out exactly. Faults, existing with the partial discharges in complete or partly of insulations systems, affect whole system and may prevent uninterruptable working.

In this master thesis, we analyzed partial discharges measurements which were recorded in Stuttgart Institute of Power Transmission and High Voltage Technology. Insulation system of experiment was made of N<sub>2</sub> gas in % 99 percentages and SF<sub>6</sub> gas in %1 percentage and pressure levels are 1 bar, 2 bars and 3 bars.

Experimental set up was made up one plane electrode and one rod electrode. The rod electrode was 100 mm long with the thickness of 0.5 mm. The plane electrode was 50 mm long and the thickness of it was 20 mm. The distance between the electrodes was 20 mm and electrodes were curved.

Experimental set up was checked out by a partial discharge calibrator (Haefely 451) and a computer via two coupling capacitors.

Optical signals were recorded with Omicron MPD 5400 and converted into electrical signals with Omicron MCU 502 fiber optical bus converter.

There are five voltage levels measured in 1 bar pressure level. These are 8.2 kV, 10.2 kV, 12 kV, 15.6 kV and 18.3 kV. PD signals distribution according to these voltage levels are shown in Figures 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 and 4.13.

Similarly, there are six voltage levels measured in 2 bars pressure level. These are 10.93 kV, 12.39 kV, 13.62 kV, 15.38 kV, 18.47 kV and 20.24 kV. PD signals distribution according to these voltage levels are shown in Figures 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18 and 4.19.

There are five voltage levels measured in 3 bars pressure level. These are 13.54 kV, 15.5 kV, 16.75 kV, 18.94 kV and 20.54 kV. PD signals distribution according to these voltage levels are shown in Figures 4.20, 4.21, 4.22, 4.23 and 4.24.

In order to compare PD distributions in common voltage levels (15 kV and 18 kV) of all three pressure levels, we compose two separate figures (Figures 4.25 and 4.26).

12 kV voltage level is chosen for analysis start point, from which PD's are respectable. PDs are analyzed both for negative and positive polarities.

Partial discharge rising time ( $\Delta t$ ) is evaluated in  $\mu s$  and PD amplitude is evaluated in pC.  $\Delta t$  generally exists between 3 and 7  $\mu s$  and rarely between 30 and 40  $\mu s$ .

Besides, PD values are shown on graphics in every voltage levels. These graphics change 3 to 4 periods depending on experiment duration.

According to partial discharge distributions, basic amplitudes, approximately 0.6- 0.8 pC, exist at any time. So, some measurements are evaluated only for PDs which has an amplitude bigger than 2 pC. Besides, in some measurements, basic noise level signals and bigger ones are evaluated in two different categories.

It can be said that, partial discharge levels are higher as voltage levels getting higher. As pressure levels getting higher, partial discharges are lately coming out because of the against force.

Statistical values (mean, standart deviation, skewness, kurtosis and correlation coefficients) are calculated in order to evaluate both voltage and pressure effects on partial discharge characteristics. Calculated statistical values are expounded and discussed in the last two sections of this study.

According to calculated statistical values, it is shown that partial discharges are naturally nonlinear systems. Therefore, statistical distributions of PDs are not symmetrical, but asymmetrical.

Asymmetrical distributions have two remarkable parameters. First one is skewness and second one is kurtosis.

Skewness values are shown on Figures 5.13, 5.14, 5.15 and 5.16. Kurtosis values are shown on Figures 5.9, 5.10, 5.11 and 5.12 as well.

Kurtosis values are higher on 1 bar pressure level than 2 bars and 3 bars pressure levels. This is because, partial discharge levels and occurance times are very different from each other on 1 bar pressure level.

Similiarly, skewness values are hihger on 1 bar and 2 bars than 3 bars. The reason is that, measurements on 3 bars are very near to each other and so, standard deviations are smaller on this pressure level.

However it is very hard to comment statistical values of high values of  $\Delta t$  times and PD signals from graphics, it can be said that, these datas are comparatively few and very coincidentally. So that statistical graphics are not properly distributed and it is not very easy to make results with them.

Mean values of  $\Delta t$  times, are getting smaller as voltage levels are getting higher. Because partial discharge signals are rising up properly as voltage levels get higher. This result has a supportive feature of our experiment.

Correlation coefficients are not getting higher in high voltage levels but getting higher depending on pressure levels. In this circumstance, we can say that, partial discharge signals are to be similar at high pressure levels.

It is hard to conclude high correlation between 1 and 3 bars on 15 kV voltage level directly. There are several variables both for voltage and pressure levels and partial

discharge rise up stochastically as well. So that, these physical events are nonlinear and it is hard to make very certain judgements.

A general notion can be put forth only if experiments are widened with more data and parameters. These experiments will be sequences of this master thesis.

Partial discharges spectral analysis can be done and this frequency studies may result with skewness parameters of partial discharge signals.





## 1. GİRİŞ

Elektrik enerjisinin iletiminde yüksek gerilimin (YG) kullanılması hem kayıpların azaltılması hem de kullanılan ekipman ölçülerinin düşürülmesi açısından önemlidir [1]. Fakat YG kullanımı ile birlikte birtakım sorunlar da ortaya çıkmaktadır. Yalıtım sisteminde kullanılacak malzemelerin seçimi, işletme süresince yalıtımın sorunsuz olarak sağlanması, sistem içinde ve işletme dahilinde güvenli çalışmanın sağlanması bunlardan bazılarıdır.

Ayrıca, oluşabilecek herhangi bir arıza durumunda ekipmanların zarar görmeden normal çalışma koşullarına kısa sürede dönmesi gerekir. YG' de karşılaşılabilecek arızalardan biri ve rastlantısal olarak tabir edileni kısmi boşalma (KB) olaylarıdır. KB olaylarının hangi durumlarda ve ne şekilde ortaya çıkacağı genellikle tahmin edilemez ve her seferinde birbirinden farklı özelliklere sahiptir. Bu nedenle, KB olaylarıyla ilgili ortaya konabilecek her çalışma ve elde edilecek her sonuç YG uygulamaları için son derece önemlidir.

### 1.1 Tezin Amacı

Yapılan tez çalışmasının amacı, stokastik (değişken, rastlantısal) KB olaylarının farklı gerilim ve basınç seviyelerinde ortaya çıkış karakteristiklerinin çıkarılmasıdır.

### 1.2 Literatür Araştırması

KB sinyallerinin sınıflandırılması ve buna bağlı olarak özellik çıkarımlarında bulunulabilmesi için 1980'lerden günümüze kadar uzanan süreçte çeşitli deneyler yapılmıştır.

1995 yılında T. Ficker tarafından doğru akımda düzlemsel elektrot sistemi ile yapılan ve elektrotlar arasındaki boşluklar yardımıyla üretilen KB sinyallerinin gecikme zamanları incelenmiştir. Deneyde kullanılan ölçüm cihazından hareketle o dönemde kullanılan teknolojinin zaman içerisinde ne kadar geliştiği de tasavvur edilebilir, bu

cihazlar kaydedilen sinyallerin oluşma zamanını ve genliğini düzenli olarak kaydedebilecek özellikte değildir. Bu durum göz önünde bulundurularak oluşturulan dağılım eğrilerinden logaritmiklik, lineerlik gibi çıkarımlarda bulunulup ölçümlerin daha uzun süreli ve daha hassas yapılması halinde bu öngörülemez ve sınıflandırılmaz elektriksel olayların belirli oranda zelleştirilebileceğinden bahseder [2].

2017 yılında, XLPE (cross linked polyethylene) kablolar üzerinde boşluk, kesik ve korona durumunda meydana gelen arızaların incelendiği Xinye Wu, Hongbo Ye' nin birlikte yaptıkları deney yer almaktadır [3].

Deneyde, farklı arıza durumları için faz açısı ve sinyal genliklerinin istatistikler değerleri hesaplanmış ve bu değerlerin her birinin farklı arıza tipleri için birbirinden farklı özellikler gösterdiği ortaya konmuştur.

### **1.3 Hipotez**

KB olaylarının ortaya çıkış zamanlarının rastgele olmasından dolayı KB olaylarının da rastgele olaylar olması beklenir. Bu rastgelelik olayları, istatistiksel yöntemlerle doğrulanabilir.

## 2. KISMİ BOŞALMA

Kısmi boşalma (KB), Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) 60270 nolu Standardı' na göre, yalnızca iletkenler arasındaki yalıtıma kısmen köprü oluşturan, belli bir yerdeki elektriksel boşalmadır.

KB' ler genel olarak, yalıtımın içinde veya yüzeyinde, bölgesel elektriksel gerilmelerin yoğunlaşmalarının bir sonucudur. Genellikle bu tür boşalmalar,  $1\mu s$  'den daha az süreli olan darbeler olarak görülür [4].

Birden fazla yalıtkan tabakaya sahip olan elektriksel sistemlerin herhangi bir tabakasında elektrik alan şiddetinin o tabakaya ait delinme alan şiddetinden büyük olması ( $E \geq E_d$ ), o tabakada boşalma sonucu delinme olması anlamına gelir; tabaka elektriksel olarak kısa devre olmuştur. Eğer herhangi bir tabaka delinirse, tüm sisteme uygulanan gerilim, geri kalan tabakaları zorlamaya devam eder ve oluşan yeni duruma göre gerilim ve elektrik alan dağılımının hesaplanması gerekir.

Bir sistemin bütün olarak uygulanan gerilime dayanımından bahsetmek için, sisteme ait yalıtkan tabakaların en az birinin gerilime dayanması gereklidir. Gerilime dayanmayan tabakalardaki boşalma, tüm sistemi kısa devre etmeyen, sistemin yalnızca bir bölümünde olan boşalma, yani kısmi boşalma olarak adlandırılır [1].

KB' ler, yalıtkan malzemedeki hasarlı bölgede oluşan yük hareketleridir ve genlikleri Coulomb (C) cinsinden ölçülmektedir.

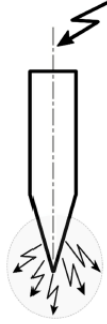
### 2.1 Kısmi Boşalmanın Sınıflandırılması

Kısmi boşalmalar, meydana geliş şekline ve etkisine göre dört grupta sınıflandırılmaktadır: Korona, iç kısmi boşalma, yüzeysel boşalma ve elektriksel ağaçlanma.

#### 2.1.1 Korona

Korona boşalması, eğrilik yarıçapı küçük olan elektrotlarda veya keskin kenar, sivri uç, köşe gibi elektrik alan şiddetinin yüksek olduğu noktalarda meydana gelen, kendi

kendini besleyen bir boşalma olayıdır [5, 1]. Şekil 2.1’ de korona olayı sembolize edilmiştir.



Şekil 2.1 : Korona olayı.

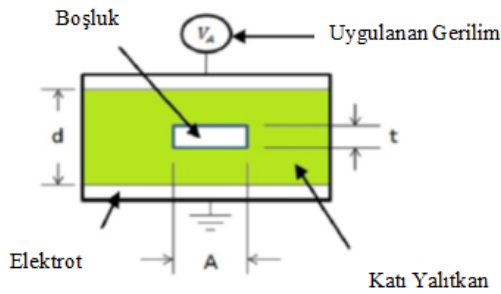
Korona sırasında iletken çevresinde gözle görülür bir ışımaya olur ve bu nedenle korona boşalması “ışıklı taç” olarak da adlandırılmaktadır.

Pozitif ve negatif korona boşalmasının mekanizması birbirinden farklı olduğu halde, her iki kutbide de aynı şiddette meydana gelir. Negatif korona deşarjında elektronlar çarpma suretiyle iyonizasyon bölgelerinden dışarıya doğru uçuşurlar ve negatif iyon üretirler; pozitif iyonlar ise nispeten daha küçük hızla elektroda doğru hareket eder ve burada nötralle olurlar. Pozitif korona boşalmasında pozitif iyonlar çarpma suretiyle iyonizasyon bölgesinden uzaklaşırlar; elektronlar ise çok hızlı bir şekilde elektroda ulaşırlar [5].

Az gürültülü bir ortamda koronadan dolayı meydana gelen cızırtıların işitilmesi mümkündür.

### 2.1.2 İç kısmi boşalma

Katı yalıtkanlarda görülen KB' lerin en yaygın sebeplerinden birisi boşluklardır. Boşluklar, Şekil 2.2’ de gösterildiği gibi, yalıtkanın ortasında veya yalıtkanla iletkenler arasındaki sınır bölgelerinde bulunabilir.

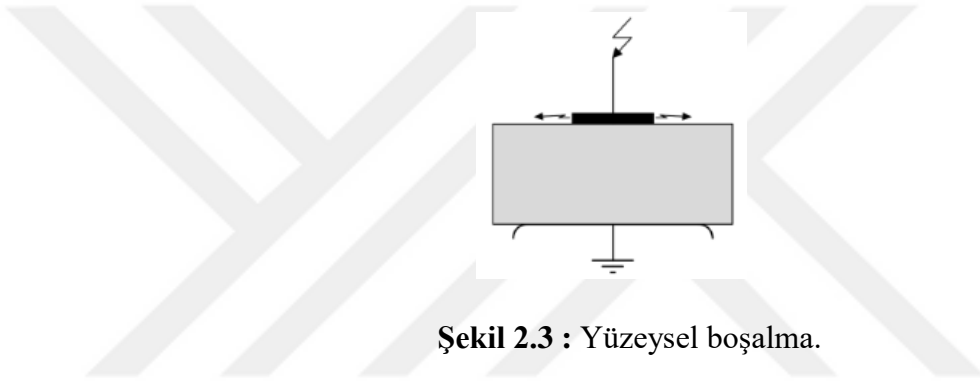


Şekil 2.2 : Katı yalıtkanlardaki boşluğun fiziksel modeli.

Bu boşluklar genellikle gaz ya da sıvı formda bir ortama dönüşmüşlerdir. Dielektrik sabiti yalıtkandan daha düşük olan ortamdaki elektrik alan, yalıtkanın elektrik alanından daha yüksek bir değerdedir. Bu da normal çalışma gerilimlerinde dahi kesintilerin olma ihtimalini doğuracaktır. Katı yalıtkandaki boşluklar, üretim, kurulum ya da çalışma sırasında oluşabilir [6].

### 2.1.3 Yüzeysel boşalma

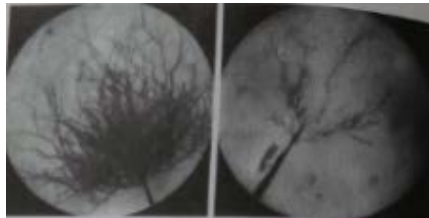
Yüzeysel boşalmalar, bir yalıtkan yüzeyine paralel şekilde gerilim bileşeni bulunduğu meydana gelir (Şekil 2.3). Bu tür boşalmalar, buşing, kablo başlığı, generator sargılarının uçları gibi dış yüzeyle temas eden bölgelerde oluşur [7].



Şekil 2.3 : Yüzeysel boşalma.

### 2.1.4 Elektriksel ağaçlanma

Elektriksel ağaçlanma, kuru bir yalıtkanda meydana gelen KB' ler nedeniyle, metal ya da yarıiletken parçalarda veya boşluklarda, yüksek ve birbirinden ayrık şekilde oluşan ve yayılma özelliği gösteren elektriksel gerilimlerdir. Bu tip ağaçlanmalar, KB ile birlikte yalıtkan malzemede oluşan içi boş kanallardır. Elektriksel ağaç kanalları kalıcı olarak gözle görünür durumdadır. Dentrit, çalı tipi, kıvılcım tipi, ip tipi, fiyonk tipi ve havalı tip olmak üzere birçok farklı şekilde adlandırılmışlardır. Şekil 2.4' te bazı tipik ağaçlanma çeşitleri gösterilmiştir.



Şekil 2.4 : PE yalıtkandaki tipik elektriksel ağaçlanmalar a) fırça tipi b) ağaç tipi.

Havalı tip ağaçlanmalar için taze havaya ulaşabiliyor olmak, ağacın gelişiminde önemli bir etkidir. Bu tip ağaçlanmalar, sürekli şekilde büyüyebilme özelliğine sahiptir ve elektrotlar arasında köprü oluşturacak ya da yalıtkanlarda arızaya sebebiyet verecek uzunluğa sahiptirler [8].

## **2.2 Kısmi Boşalmanın Önemi**

KB' ler, kademeli şekilde yalıtım sistemlerinde hasarlara neden olan arklardır. Enerji kesintisinden önce ardarda KB darbeleri meydana gelir ki bu da zamanla yalıtımda hasar oluşması anlamına gelmektedir [9].

Kısmi boşalmaların etkinliği her ne kadar sistem ömrü hakkında net bilgi veremese de bu boşalmaların görülme sıklığı yalıtımdaki bir arızaya işaret ediyor olabilir ve bu durum da sistemdeki güç kaybında artışa neden olmaktadır [10]. Ayrıca KB' ler, sistemin kesintisiz çalışması ve dolayısıyla çalışmada verimliliğin artırılmasının önünde de büyük bir engeldir. Bu nedenle, yüksek gerilim sistemlerindeki arızaları önceden belirleyebilmek amacıyla kısmi boşalmaların da yardımıyla güç sisteminin durumunu tayin edebilmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir.

Generatörlerin stator sargılarının yalıtımlarını korumak amacıyla elde edilen verilerden KB' leri önceden tahmin ederek bir erken uyarı sistemi oluşturmak amacıyla daha önceden yapılmış olan dokuz yüzden fazla KB ölçümünün ve bu ölçümlerin elde edildiği otuzdan fazla generatörün incelenmesi sonucunda iç kısmi boşalmaların birbirlerinden farklı karakteristikler gösterdiği ve KB' lerin %40' ından fazlasının ikiden fazla tip KB özelliğine sahip olduğu görülmüştür. Dolayısıyla, her ne kadar KB' lerin sınıflandırılması için elde edilen benzerliklerin nispi kullanımı söz konusu ise de, bir ekipmanın aynı bölgesinde meydana gelen iki ayrı KB' nin birebir aynı özellikler gösterdiğini söylemek de zordur [11]. Bu nedenle, KB' lerin sınıflandırılması, yapılan deney sonuçlarının değerlendirilmesi ve uygulanabilir olması ile ilgili yapılan çalışmalar, yüksek gerilim uygulamaları için hayli önemlidir.

## **2.3 Kısmi Boşalmaya Etki Eden Faktörler**

Elektrik ekipmanlarının üretimi sırasında meydana gelen hatalar nedeniyle (çapaklar, yalıtım malzemelerindeki boşluklar, yabancı maddeler gibi) KB' lerin oluşması ya da oluşma sıklıklarının artması, üretim sürecinin ne denli özenli olması gerektiğinin

altını çizmektedir. Ayrıca malzemelerin temininde kaliteli ürünlere yönelmesi gerektiğinin de en önemli göstergelerindendir.

Günümüz yüksek gerilim (YG) sistem yalıtkanlarının yüksek elektriksel, ısı, mekanik ve kimyasal dayanıklılık standartlarını karşılaması beklenmektedir. Bu da, yeni kurulan sistemlerde elektriksel yalıtkanların, özellikle epoksi reçine, termoplastikler, iyi kalitedeki porselenler ve sıvı yalıtkanlar gibi sentetik malzemelerin kullanımı ile mümkün olmaktadır. Yalıtkan bir sistemin durumu, üretim aşamasına ve çalışması sırasında karşılaştığı tehlikelere karşı verdiği tepkilere bağlı olacaktır. Bu tehlikelerden bazıları, boşluklar, ölü alanlar, aralıklar ve metalik parçalar gibi harici malzemelerin neden olduğu etkilerdir. Elektrik alan bozulmasına sebep olan bu gibi birçok etken KB' lerin temel sebebini oluşturmakta ve er ya da geç yalıtım sisteminde bozulmalara ve hatta güç kesintilerine yol açmaktadır. Dolayısıyla, sinyal ve görüntü işlemeye dayanan teknikler, yalıtım sistemlerindeki bozulmaların daha net bir biçimde ortaya konması ve çözüm yoluna daha kısa sürede ulaşılması açısından önem arz etmektedir [12].

Elektriksel yaşlanma süreçleri söz konusu olduğunda KB' ler üzerinde doğrudan etkisi bulunan gaz basıncı da malzeme yapısındaki boşluk yüzeyinin durumu gibi elektriksel sistemlerde incelenmesi gereken önemli özelliklerdendir [13].

İşletme sırasında meydana gelen harmonik bileşenler, elektrik sistemlerindeki yalıtım bölgelerinin daha fazla zorlanmasına neden olabilmekte, toplam harmonik bozulma (THB) düzeyindeki artış da yalıtkan yaşlanmasını hızlandırabilmektedir. Dolayısıyla harmonik içeren gerilimlerin yalıtım sistemleri üzerinde meydana getirebileceği etkiler, hem KB ölçmelerinde KB' lerin tanımlanabilmesi açısından aşama katedebilmek hem de işletme koşullarında iyileştirmeler sağlayabilmek açısından araştırılması gereken önemli konulardan biridir [14].

#### **2.4 Kısmi Boşalmanın Ölçülmesi**

Elektriksel bir sistemdeki yalıtkan yapının işlevselliğinin korunması ve çalışır durumdaki kalitesinin artırılması amacıyla hem üreticiler tarafından ticari kaygılarla ve hem de mühendisler tarafından teknik kaygılarla KB' lerin ölçülmesi konusu güncelliğini korumaktadır.

Geleneksel ölçümlerde kısmi boşalmalar iki büyüklükle tanımlanır: Boşalmanın genliği ve (frekans dalgasının fazına bağlı olarak ölçülen) konumu. Zamanla geliştirilen tüm diğer ölçme tekniklerinde bu iki temel veri üzerinden değerlendirme yapılmaktadır. Eğer KB bir yarı periyottaki sinüs dalgası süresince ölçülürse sinüs dalgasının pozitif ve negatif yarısındaki boşalmaya dair büyüklükler de hesaplanabilmektedir. Daha sonra bu büyüklükler zamanın ve faz açısının bir fonksiyonu olarak analiz edilebilmektedir.

Boşalmanın meydana geldiği yer ve ölçüm yapılan zaman aralığı ile ölçümlere etki eden daha birçok farklı değişken bulunmaktadır. Ölçüm yapılan ekipmanın tüm dış etkenlere kapalı olduğu yalıtılmış bir alanda bulunması durumunda bile sadece ölçüm yapılan zaman aralığına bağlı olarak boşalmanın farklı karakteristikler gösterdiği deneylerle gözlenmiştir.

Farklı boşalma olayları ise (tek bir noktada meydana gelen korona, birbirine temas eden iki yalıtkan arasındaki kısmi boşalma gibi) tamamen farklı karakteristikler göstermektedir [15].

Kısmi boşalmaların analizindeki temel sıkıntı, boşalma sinyallerinin yeterince iyi hassasiyetle ölçülmesi gerektiği değil, bozulma olayları sırasındaki KB' ler dahilindeki gerçek fiziksel olguların yorumlanmasıdır. Bu nedenle birçok araştırma yayımlanmış ve çok çeşitli arızaların sınıflandırılmasında kullanılmak üzere birçok KB özellik çıkarma yöntemi geliştirilmiştir.

Bölgesel bir elektrik kesintisinde mevcut olan bir KB, yalıtkan malzemeye bağlı olarak bölgesel elektrik alan delinme elektrik alan değerini aştığında meydana gelir. Sonuç olarak yalıtkanın sınırlı bir bölgesinde meydana gelen bu elektriksel aşırı gerilim, kritik alan bölgesinde başlayıp daha düşük bir elektriksel gerilime ulaştığında ya da elektriksel dayanımı daha güçlü bir malzeme tabakasıyla karşılaştığında duran ve yükleri taşımakta olan inanılmaz derecede hızlı büyüyen bir çığ gibidir [16].

#### **2.4.1 IEC 60270' e göre KB ölçümü**

KB' lerin elektriksel ölçümleri, bilgisayar tabanlı sistemlerle KB' lerin genlik, faz açısı, gerçekleşme zamanı gibi büyüklüklerinin ölçümüne dayanır. Fakat IEC 60270 Standardı' na göre, elektriksel olmayan bazı ölçüm yolları da mevcuttur. Bu

yöntemler KB' lerin büyüklüğünü ölçmek için uygun olmamakla birlikte KB' lerin varlığını tespit ve yerlerini tayin etmekte kullanılmaktadırlar.

Elektriksel olmayan ölçme metotlarından ilki, akustik ölçmedir. Bu metot sessiz ya da gürültü düzeyi düşük tabir edilen ortamlarda etkilidir. Mikrofon ve akustik dönüştürücü gibi sesleri ayırt edici özellikteki techizatlar bu yöntemde etkin şekilde kullanılır.

İkinci metot görsel (optik) algılamaya ve ölçmelere dayanır. Bu yöntemin etkili olabilmesi için ortamın karanlık olması önemlidir. Karanlıkta kayıt yapabilen fotoğraf makinesi veya kameralar ile diğer görüntü kaydedici cihazlar etkin şekilde kullanılır fakat pozlama sürelerinin uzun olması gerektiği de unutulmamalıdır.

Üçüncü bir metot ise kimyasal algılamadır. Kimyasal algılama yönteminin kullanılabilmesi için ölçüm yapılan cihazın gaz ya da yağ yalıtımlı olması ve bu yalıtım malzemelerinin içinde çözünmüş halde maddelerin bulunması gereklidir. Çözünmüş haldeki bu kimyasal maddelerin cinsine ve yalıtım malzemesindeki miktarına göre sistemdeki arızalar ve KB kaynaklı olup olmadıkları incelenebilir [4].

#### **2.4.2 KB ölçümünde yalıtım malzemesinin etkisi**

Sülfür hegzaförür ( $SF_6$ ); orta gerilim hücresi, gaz yalıtımlı sistem (GIS) elemanları, transformatörler ve gaz yalıtımlı kablolar dahil olmak üzere, güç sistemlerinde geniş bir uygulama alanına sahip yalıtkan bir malzemedir.  $SF_6$ , kimyasal olarak sabit bir bileşene sahip olup zehirli ve yanıcı olmayan, buhar basıncı yüksek (oda sıcaklığında yaklaşık 21 bar) bir gazdır. Standart GIS uygulamalarında (yaklaşık 5 bar)  $-35^{\circ}C$ 'ye kadar herhangi bir sıvılaşma olmaksızın kullanılabilir.

Güç sistemlerinde geniş bir kullanım alanına sahip olması yalnızca yüksek dielektrik dayanımından değil, aynı zamanda iyi bir ısı transfer karakteristiğine sahip olması ve mükemmel bir ark sönmeyici olmasından da kaynaklanmaktadır [17]. GIS' lerde kullanılan  $SF_6$  gazının standart dielektrik dayanımı  $89 \text{ kV/cm}$ ' dir. Bu dayanım, havanın dielektrik dayanımından üç kat daha fazladır [18].

Kapalı, gaz yalıtımlı sistemlerin kullanımı, elektrik güç sistemleri ekipmanlarının boyutlarında azalmaya ve dolayısıyla nakliye, montaj ve bakım evrelerinde de kolaylıklara neden olmaktadır.

Gaz yalıtımlı hücre ya da gaz yalıtımlı iletim hattı gibi çeşitli gaz yalıtımlı güç sistemi, özellikle şehir merkezleri gibi enerji üretimi için çok kolay şekilde alan yaratılamayacak yerlerde geniş kullanım alanına sahiptir [19].

Gaz yalıtımlı sistemlerde birçok olumlu özellikten dolayı çokça kullanım alanına sahip olan SF<sub>6</sub> gazı, aslında çok yüksek bir küresel ısınma kaynağı olma potansiyeline sahip bir gazdır [20].

Gaz yalıtımlı sistemlerde uygun gaz oranlarının kullanımı, hem en etkin yalıtım özelliklerini sisteme kazandırıp hem de doğaya ve insana en az zararı olacak şekilde düzenleyebilmek açısından oldukça önemlidir. Yalıtıcı özellikteki gazların farklı oranlarda farklı ekipman ve sistemler için ne gibi sonuçlar doğurduğunu deneysel olarak test etmek hem zaman açısından hem de maddi açıdan çok uygun değildir. Bu nedenle, genetik algoritma yardımıyla uygun gaz karışımını bulmak üzere çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

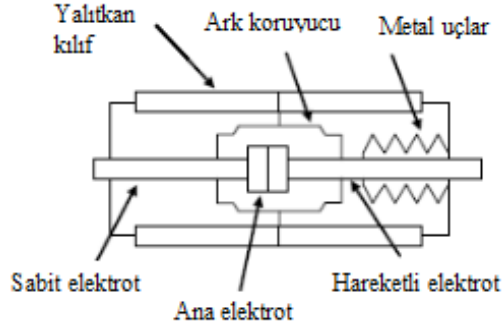
2004 yılında yapılan bir çalışmada, SF<sub>6</sub>, CF<sub>4</sub>, C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>, C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, He, Ne, Ar ve Xe gazlarının karışımları incelenmiştir. Bu 14 gazın seçilme sebebi, elektriksel iletkenliklerinin yüksek olması ve doğaya SF<sub>6</sub> gazından daha az zararlarının olmasıdır.

Çalışmaya göre, SF<sub>6</sub> ve C<sub>2</sub>F<sub>6</sub> gaz karışımı, saf SF<sub>6</sub> gazının yalıtkanlığına denk bir yalıtkanlık özelliğe sahiptir. SF<sub>6</sub> gazının olmadığı karışımlardan ise hiçbirinin saf SF<sub>6</sub> gazı yalıtkan özelliklerine sahip olmadığı görülmüştür. SF<sub>6</sub>' dan sonraki en iyi yalıtkan özelliklere sahip karışım ise CO/C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>/C<sub>3</sub>F<sub>8</sub>=0.27/0.25/0.48 olmuştur.

SF<sub>6</sub> gazının yalıtım malzemesi olarak kullanıldığı elektrik ekipmanlarından birisi de kesicilerdir. Kısa devre, aşırı yük, aşırı akım gibi belirli bir seviyenin üzerindeki akımların ekipmana ya da sisteme girişini engellemek üzere kullanılan kesiciler için alternatiflerden biri de vakumlu kesicilerdir. Bu denli önemli işlevlere sahip olan vakumlu kesicilerin performanslarını ve güvenilirliklerini artırmak üzere yapılan çalışmalardan bazıları, kesici içerisindeki yalıtkan gaz basıncının ayarlanması üzerinedir. Şekil 2.5' te bir vakumlu kesicinin genel yapısı gösterilmiştir.

Vakumlu kesici, normalde kapalı kontak durumunda olup aşırı akım sırasında kontaklarını açarak devredeki akışı keser. Dolayısıyla, kapalı kontak durumundaki kesici üzerinde inceleme yapmak pratik uygulamalar açısından daha önemlidir. 2007

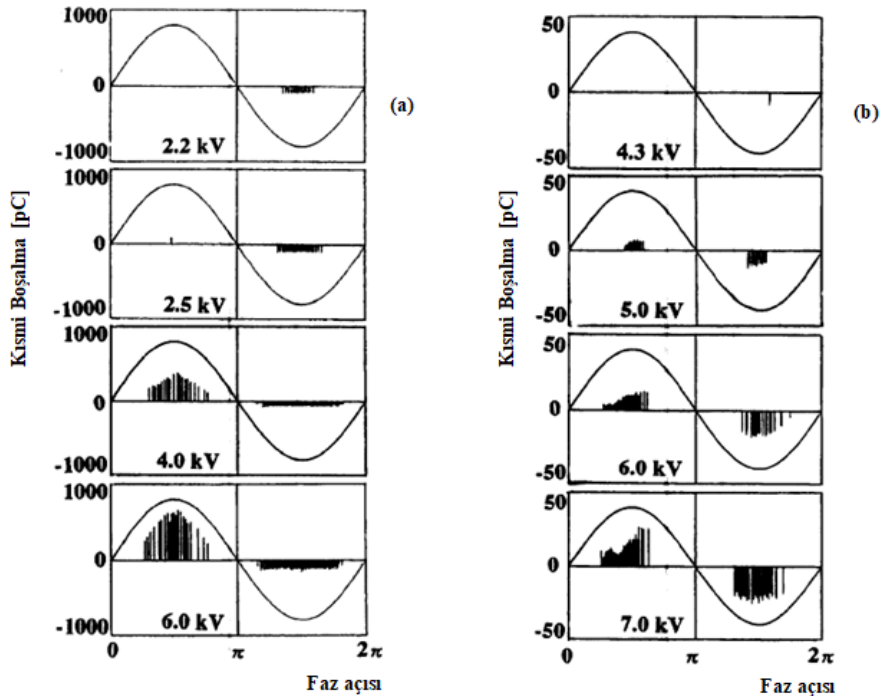
yılında yapılan deney sonucuna göre, KB' nin başlama gerilimi, kesici iç basıncı arttıkça artmaktadır [21].



Şekil 2.5 : Vakumlu kesicinin yapısı.

### 2.4.3 KB ölçümünde gerilimin etkisi

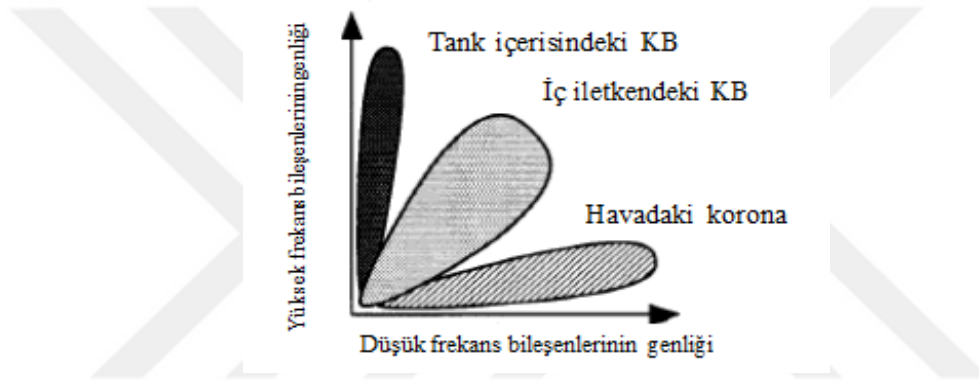
1994 yılında SF<sub>6</sub> gazı ve hava yalıtımlı olan iki sivri uçlu elektrot sistemiyle yapılan deney sonucunda, hava yalıtımlı sistemde uygulanan gerilimin büyüklüğü ve kutbiyetinin KB üzerinde etkili olduğu görülürken (Şekil 2.6a) (Pozitif yarı periyotta gerilim artırıldıkça KB da aynı oranda artmış ve negatif periyotta KB gözlenmemiştir.) SF<sub>6</sub> yalıtımlı sistemde kutbiyetin bir etkisi olmadığı sonucuna ulaşılmıştır (Şekil 2.6b) [22].



Şekil 2.6 : 15mm boşluk ve 30µm çaplı sivri uçlu elektrot sistemlerinde KB darbelerinin a) hava yalıtımlı b) SF<sub>6</sub> yalıtımlı olması durumunda gerilim değişimlerine yanıtı.

#### 2.4.4 KB ölçümünde frekansın etkisi

KB kaynaklarını belirlemek için kullanılan, daha önce yapılmış deneylerden elde edilmiş frekans aralıkları vardır. Şekil 2.7' de farklı KB tiplerinde yüksek / düşük frekans - KB bağıntısı temel gösterimi verilmiştir. Yatay ekseninde her bir darbenin alçak frekanslı bileşeninin genliği, dikey ekseninde ise yüksek frekans bileşeni gösterilmiştir. Buna göre, bir gaz yalıtımlı tankın yüksek frekans bileşenlerinin genliği, iç iletkenin yüksek frekans bileşenlerinin genliğinden daha büyüktür. Aynı şekilde, havadaki bir KB darbesinin düşük frekans bileşenlerinin genliği, SF<sub>6</sub> gazındaki (ekipman içerisinde gerçekleşen) KB darbesinin düşük frekans bileşenlerinin genliğinden daha büyüktür.



Şekil 2.7 : Farklı KB tiplerinde yüksek/düşük frekans - KB bağıntısı.

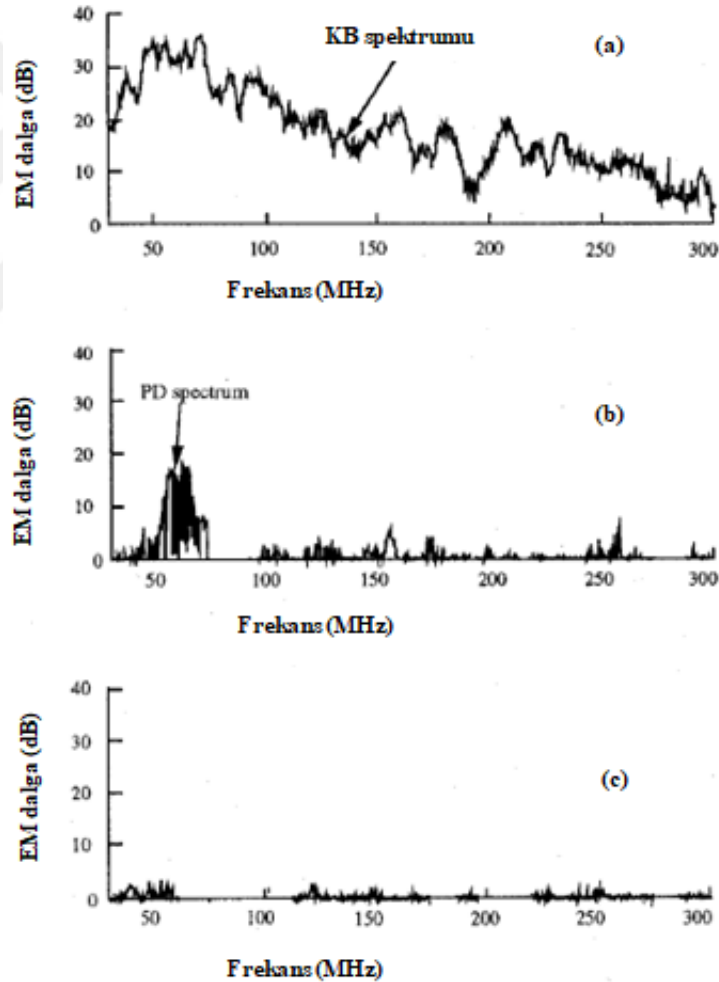
KB olayının değerlendirilebilmesi için, yalıtkan sistem içerisindeki elektrik alan dağılımı, önceki boşalmalardan kalan yükler gibi özelliklerin de bilinmesi gereklidir; tek başına frekans değerlendirmesi yeterli değildir [23].

#### 2.4.5 KB ölçümünde gürültünün etkisi

KB analizlerini ortaya koymak yalnız ölçümlerin yapılması açısından değil, boşalmaların sistem ekipmanlarına etkisini değerlendirmek bakımından da önemlidir. Fakat YG sistemlerindeki KB sinyalleri, havadaki kısmi boşalmaların içinde mutlak surette bulunan gürültülere nazaran daha zayıf sinyallerdir. Dolayısıyla, yalıtkanların performansını etkileyen bu boşalmaların ölçülmesi çok kolay bir işlem değildir. Bu nedenle, gürültü sinyallerini KB sinyallerinden ayırtmak için farklı yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan biri, SF<sub>6</sub> gazının yalıtkan olarak kullanıldığı sistemlerde KB sırasında yayılan EM (elektromanyetik) dalganın spektrumunu belirlemektir.

1998 yılında Japonya’ da 30- 300 MHz algılama kapasiteli bikonik anten yardımıyla yapılan ölçümlerde 550 kV açık hava tipi (4 gün boyunca), 550 kV açık hava tipi gaz yalıtımlı (6 gün boyunca) ve 275 kV yer altı gaz yalıtımlı (2 gün boyunca) üretim tesislerinin gürültü spektrumları incelenmiştir. Ölçümler sonucunda elde edilen KB kaynaklı EM dalga spektrumları Şekil 2.8’ deki gibidir ve ortam gürültülerinin spektrumları elde edilen dalga şekillerinden çıkartılmış durumdadır.

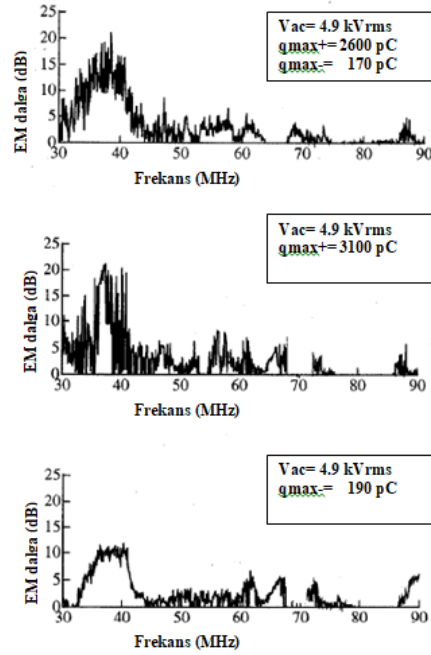
Şekil 2.8’ de görüleceği üzere, açık hava tipi tesisteki EM spektrumun frekansı 30- 300 MHz arasında değişmektedir. Açık hava tipi gaz yalıtımlı tesisin 20 dB üzerindeki EM spektrumu sadece 50- 70 MHz arasında gerçekleşmiştir. Yer altı gaz yalıtımlı tesiste ise EM spektrumdan bahsedilemeyecek denli düşük değerler ölçülmüştür.



Şekil 2.8 : Farklı özellikteki tesislerde a) açık hava tipi b) açık hava tipi gaz yalıtımlı c) yer altı gaz yalıtımlı ölçülen EM dalga spektrumu.

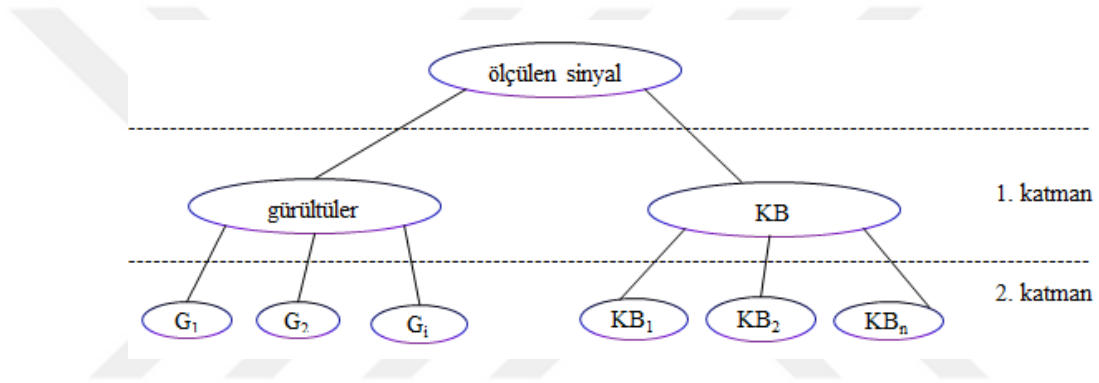
Sonuçlar şu şekilde yorumlanabilir: açık hava tipi tesiste birçok YG ekipmanı ve bunlardan yayılan EM dalga söz konusudur. Yer altı gaz yalıtımlı tesiste ise bu ekipmanların hepsi metal bir mahfaza içinde korunmuş ve betonarme bir bina içerisine kurulmuş olduğundan gürültü seviyesi çok düşük seviyelerdedir. Bu nedenle, ortamdaki gürültünün KB sinyallerinden ayrıştırıldığı varsayılırken yer altı gaz yalıtımlı tesis örneği baz alınmıştır.

Bir tesisteki gürültü spektrumu, hava koşulları, atmosferik basınç ve sıcaklık gibi çeşitli atmosferik olaylarla değişmektedir. Ayrıca, alternatif akımın pozitif ve negatif yarı periyotlarındaki EM spektrumları da birbirinden farklıdır. Bu nedenle, pozitif ve negatif yarı periyotlardaki spektrumları ayrı ayrı ölçmek için deneyde "faz analizi yöntemi" kullanılmıştır. Bu yöntem, alternatif akım (AA)' da YG' nin uygulandığı sürenin pozitif ve negatif yarı periyotlarını eşit parçalara bölerek her bir parçada ölçülen darbe genliğinin hesaplanarak ayrı ayrı karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Deneydeki pozitif ve negatif yarı periyot ölçümlerinin birlikte gösterildiği Şekil 2.9a' da, 20 dB' in üzerindeki sinyaller 30- 50 MHz arasında gerçekleşirken; sadece pozitif yarı periyot ölçümünün gösterildiği Şekil 2.9b' deki spektrumun, sadece negatif yarı periyot ölçümünün gösterildiği Şekil 2.9c' deki spektruma göre 10 dB daha yüksek frekansa sahip olduğu görülmektedir [24].



**Şekil 2.9 :** Faz kontrol yöntemi olmaksızın a) AC pozitif ve negatif yarı periyotlar ve faz kontrol yöntemi ile b) AC pozitif yarı periyotlar c) AC negatif yarı periyotlar için yapılan EM dalga spektrumu ölçümleri.

YG sistem bileşenlerindeki KB aktiviteleri incelenirken gürültü sinyallerinin ayrıştırılmasında kullanılan ikinci bir yöntem, "Uygulanabilir Rezonans Teorisi (ART)" dir. Bu teoriye göre, KB' ler sırasında oluşan gürültüler, daha önce elde edilmiş olan gürültü sinyalleri ile yeni elde edilen sinyallerin birbirlerine benzerlikleri değerlendirilip yeni elde edilen sinyaller daha önce ayrılmış alt gruplara dağıtılır (dahil edilir). Her kategorideki örneğin çeşitli varyasyonları olduğundan, sadece bir noktayı değil, karakteristik özellikler bakımından ayrılmış bir bölgeyi de temsil ederler. Bu nedenle, örneklerin benzerliği, bölgesel yakınlıklarına göre tanımlanmaktadır. Benzerliklere göre dizilere ayırmak, değişik örneklere göre kategorilerin oluşturulması anlamına gelir. Bu dizilerin genişletilmesiyle örnekler daha az ya da daha çok benzer olmalarına göre ayrılırlar (Şekil 2.10).



**Şekil 2.10:** Sınıflandırma için kullanılan hiyerarşik yapı.

ART networkleri, kullanılan network parametrelerine göre irili ufaklı olmak üzere özellik alanlarına göre sınıflandırılmış diziler oluşturur. Dolayısıyla daha az ya da daha fazla sayıda örnek içerirler. Bu, networkün bir kategori altındaki gürültülerin hepsini aynı anda sınıflandırmasının mümkün olmadığı anlamına gelir. Dolayısıyla, Şekil 2.10' daki hiyerarşi dikkate alınarak işlemlerin yapılması gerekliliği doğar.

Network, sadece hiyerarşi içerisindeki katmanlarda işlem yapar. Eğer bir network ikinci katmandaki parametrelerle kullanılıyorsa, tüm KB' lerin kaynaklarına göre ayrılmış olduğunu söylemek mümkündür. Sadece gürültü bilgilerini içeren çok fazla kategori oluşturmak pratik bir çözüm olmadığından, ilk katmandaki bilgileri kullanarak gürültüleri KB' lardan ayırmak daha etkili bir çözüm olmaktadır [10].

Pratikte çalışır durumda bulunan YG ekipmanlarında yapılan KB ölçümlerinin, gürültü sinyallerini ayrıştırmakla fazlasıyla bağlantılı olduğu düşünülürse, KB sinyalleri ile gürültü sinyallerini ayırt edici çalışmaların neden bu denli uzun süreli ve yoğun çalışmalara konu olduğu da daha iyi anlaşılacaktır.

Son on beş - yirmi yılda, bir sinyalin frekansa bağlı gösterimini ifade eden "Dalgacık Dönüşümü", sinyal işlemede oldukça kullanışlı bir araç haline gelmiştir. Bu dönüşümde, kısa süreli Fourier dönüşümleri ile sınırları belirleyen bir çözüm olup KB sinyallerinin gürültü sinyallerinden arındırılmasında da kullanılmaktadır. Seçilen bir görüntü için, kısa süreli Fourier dönüşümleri sabit spektrum çözünürlüklerine sahipken dalgacık dönüşümü, değişken frekans çözünürlüğüne sahiptir. Yani, sinyal frekansları ne kadar yükseğe alçak frekanslı ekipmanlardan o denli daha iyi tanımlanabilirler. Bu şekilde, farklı aralıktaki sinyal frekanslarının çözünürlüklerinin de farklı olmasına dayanan yöntem, KB olaylarında özellikle dışardan bir gürültünün olduğu durumlarda kullanıma uygun olan yöntemlerden birisidir [12].

Dalgacık dönüşümünde sadece belirli bir aralıktaki sinyaller incelenebildiğinden, bu yöntemin ardından da yeni çözüm yöntemi arayışlarına girilmiştir.

KB sinyalinin zaman - frekans karakteristikleri analiz edilirken, gürültülerle az bağlantılı olan ya da hiç bağlantılı olmayan fakat orijinal KB sinyali ile doğrudan bağlantılı olan tam teşekküllü bir KB sinyali tanımlanmış olur.

KB sinyalini eşleme algoritmasına dayanan seyrek ayrışma ve korelasyon oranı iterasyonunun sonlandırma koşulu ile gürültüden arındırırken, sadece orijinal KB sinyali ile bağlantılı olan parçalar tarafından ifade edilecek bir sonuca ulaşmak hedeflenir. Bu parçaların seçilmesi işlemi, quantum genetik algoritmalarla da hızlandırılabilir [25].

Dalgacık dönüşümü yöntemindeki yetersiz kalan noktaları tamamlamak amacıyla geliştirilen metodlardan birisi de "Entropi Tabanlı Dalgacık Parça Analizi" (Entropy based Wavelet Packet) dir.

Dalgacıklar, bilgileri farklı frekans bileşenlerine ayıran matematiksel fonksiyonlardır. Entropi Tabanlı Dalgacık Parça Analizi' nde KB sinyalini gürültüden ayırmak için dikkat edilmesi gereken üç önemli nokta vardır: ana dalgacığın seçimi, ayrışma seviyesi ve eşik değeri.

Ayrışma seviyesi, en yüksek ayrışma seviyesindeki sinyal uzunluğu kullanılan dalgacığın uzunluğundan büyük olmayacak şekilde belirlenir. En uygun ana dalgacık, dalgacıklar arasından entropi yardımıyla seçim yapılmasıyla elde edilir. Eşik değeri ise, verilen sinyalin uzunluğuna bağlı olarak hesaplanır. Entropi Tabanlı

Dalgacık Parça Analizi' nin dalgacık dönüşümüne göre daha iyi sonuçlar verdiği söylenebilir.

Yöntemden elde edilen diğer sonuçlar ise, gürültü seviyesi arttığında gürültüden arındırılmış sinyallerin ve aynı zamanda KB sinyallerinin de tepe değerlerinin azaldığı yönündedir [26].

#### **2.4.6 Transformatörlerde KB ölçümü**

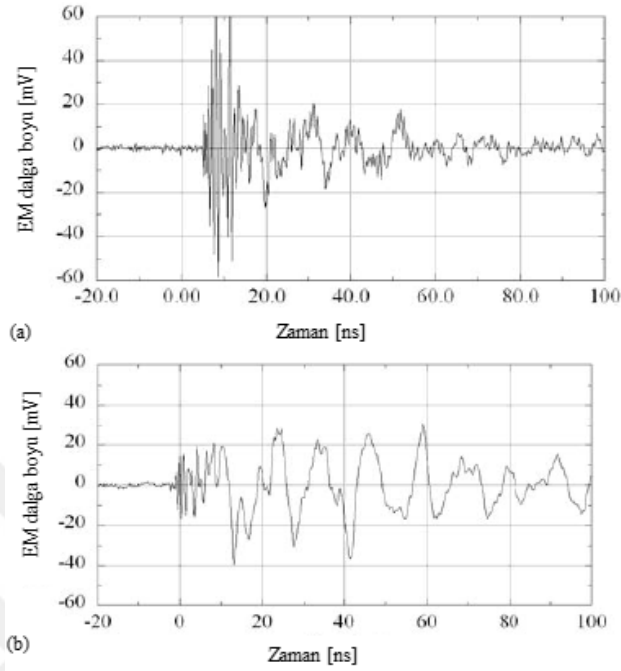
Transformatörler, yüksek maliyetleri, nakliye ve kurulum güçlükleri ile herhangi bir arızada yenileri ile değişim imkanlarının kısıtlılığıyla güç sistemlerinin en önemli elemanlarından biridir. Bu nedenle, bu cihazların kesintisiz ve hatasız şekilde çalışmaları çok önemlidir. KB' ler, yağ yalıtımlı transformatörlerin yalıtım sistemlerinde meydana gelen arızaların en önemli işaretlerinden birisi olduğundan konu ile ilgili çok çeşitli araştırmalar yapılmış ve arızalar meydana gelmeden önlemler oluşturabilmek üzere çözüm yolları aranmıştır.

KB ölçmeleri, transformatörler için kullanılan çözünmüş gaz analizi (ÇGA) yöntemi (Yağ içerisinde çözünmüş olan gazlar, gaz kromatografisi (Karışımında bulunan maddelerin sabit ve hareketli faz ile birbiriyle karışmayan iki fazlı bir sistemde ayrılması, tanınması ve saflaştırılması yöntemi) ile analiz edilir.) gibi diğer hata tespit yöntemleriyle karşılaştırıldığında çok daha avantajlıdır. Ölçümlerde daha yüksek bir hassasiyet söz konusudur ve KB darbelerini, darbenin şekline, genliğine, sayısına ve faz açısına bakarak değerlendirmek mümkündür. Bu özellik dahi başlı başına KB ölçümlerinin dikkate değer sonuçlar içerdiğinin bir göstergesidir [10].

Yağlı tip bir transformatörde frekans karakteristiklerine göre KB kaynağını (sebebini) tespit etmek üzerine de çalışmalar yapılmıştır. KB kaynağı olarak keskin uç ve hava boşluğunun incelendiği bir çalışmada, keskin metal uçtan kaynaklı KB' nin boşluk sebebiyle meydana gelen KB' ye göre yüzlerce MHz daha yüksek frekansa sahip olduğu görülmüştür. Yapılan deneyde sivri uçlu elektrot keskin ucu, iki plaka arasına yerleştirilen akrilik parça içerisindeki oyuk da boşluğu temsil etmiştir. Deney sonucuna göre, ilk 20 nanosaniyede sivri uçlu elektrotun neden olduğu EM dalgaların frekansının daha yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 2.11) [27].

Yağlı tip transformatörlerde oluşan KB' lerin yüksek frekans sinyallerinin ölçümü için kullanılan yöntemlerden birisi de Arşimet Spirali olmuştur. Söz konusu anten, korona ve gürültüye karşılık gelen alçak frekansları engelleyerek ekipmanda zararlı

etkilere sebep olan KB kaynaklı yüksek frekansları geçirecek şekilde tasarlanmıştır. Daha sonra bu KB' ler sinyal özelliklerine göre ayrılarak kaynakları anlaşılmasına çalışılmıştır.



**Şekil 2.11** : a) Sivri uçlu elektrot ve b) hava boşluğu kaynaklı KB' lerin EM dalga şekilleri.

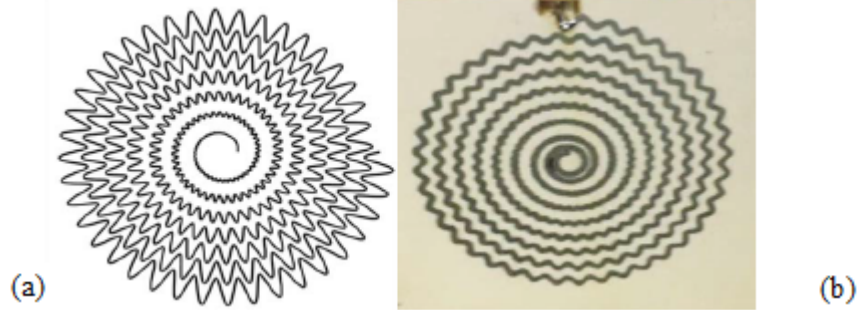
KB, farklı fiziksel ve kimyasal formlarda kendini gösteren enerji darbeleridir. Yani, KB enerjisi ile elektromanyetik yayılım, mekanik dalgalar, ısı, ışık ve kimyasal reaksiyonlar açığa çıkmaktadır. Bu etkilerin ışığında geliştirilen yöntemlerin bazıları genel geçer uygulama alanına sahip olabilirken bazısında uygulama alanını sınırlayan özellikler mevcuttur. Örneğin ÇGA yöntemi ile transformatörlerin online izlenmesi mümkün olurken KB' nin yerini veya türünü tespit etme imkanı bulunmamaktadır.

Akustik sensörlerin kullanımı yine bir diğer KB tespit yöntemidir. Bu yöntemde, KB sinyalleri tarafından üretilen mekanik dalgalarla ölçüm yapılır fakat bu yöntemde gürültü sinyalleri sensör ölçümlerini etkilemektedir.

Fiber optik akustik sensörler de KB' lerin tanınması ve görüntülenmesinde kullanılan yöntemlerdendir ancak yüksek maliyet bu sensörlerin yaygın kullanımı önündeki en büyük engeldir.

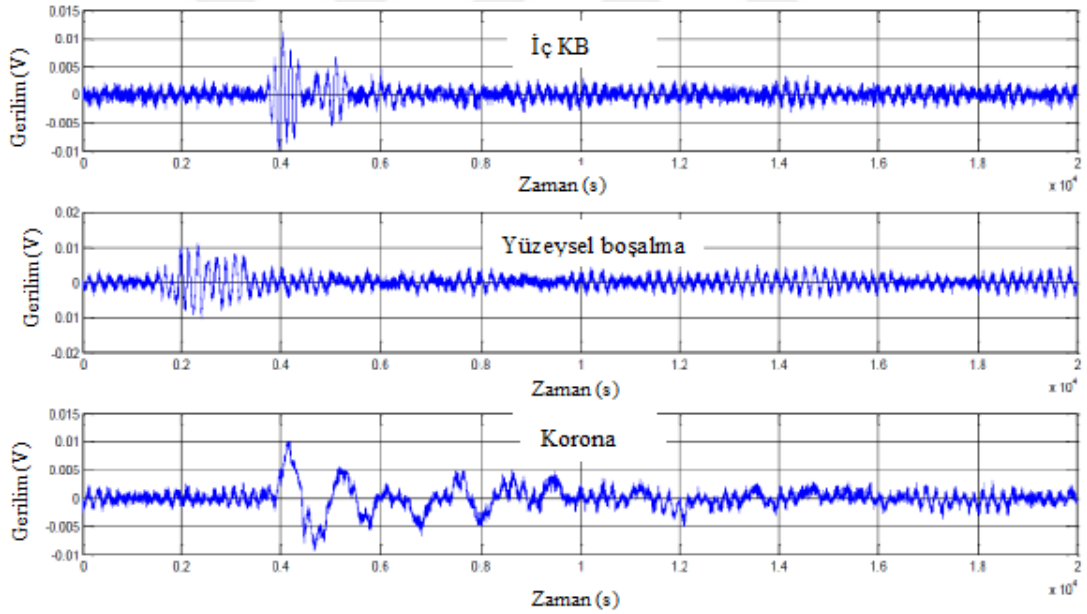
Arşimedyen Sinüsoidal Spiral Anten (ASSA) kullanımı ile KB ölçümünde, kullanılacak anten boyutunun çok büyük olmaması, transformatörün yağ boşaltma vanasına ya da tank içerisindeki yalıtkan alanlardan bir yere monte edilmesi

gerekliliğinden dolayı gereklidir. Ayrıca kullanılacak antenin KB sinyallerini yakalayacak özellikte olması gerekir. Dolayısıyla en uygun seçim ASSA olarak belirlenmiştir. Spiral antenler dairesel kutuplu olduklarından hem yatay hem dikey sinyalleri algılama özelliğine sahiptir (Şekil 2.12).



Şekil 2.12 : a) Dizayn edilmiş ve b) üretilmiş tek kollu ASSA örnekleri.

Yapılan çalışmada üç farklı KB sinyali (yüzeysel boşalma, iç KB ve korona) gözlenmiş ve farklı tipteki KB sinyallerinin zaman domeninde gösterimi Şekil 2.13' teki gibi olmuştur [28].



Şekil 2.13 : KB sinyallerinin zaman domeninde gösterimi.

#### 2.4.7 Orta gerilim hücrelerinde KB ölçümü

SF<sub>6</sub> gazının yalıtım malzemesi olarak kullanıldığı bir GIS' te, yalıtım performansının test edilmesi için KB deneyleri yapılmıştır. Deneysel sonuçlar, KB tipinin uygulanan gerilimin yükselmesiyle birlikte değiştiğini ortaya koymuştur [29].

Dağıtım sistemlerindeki en önemli elektrik ekipmanlarından birisi de gaz yalıtımlı orta gerilim hücreleridir. Bu hücreler, kesiciler, ayırıcılar, topraklayıcılar, ana iletkenler ve yalıtıcı gazla doldurulmuş tankların içerisine yerleştirilmiş buşinglerden oluşur. Bu tip sistemlerin KB ölçümlerini yapabilmek için uygun frekans aralığının seçilmesi kadar kesicilerin etkisi kesici, ayırıcı ve topraklayıcıların pozisyonlarının da değerlendirilmesi gereklidir [30].

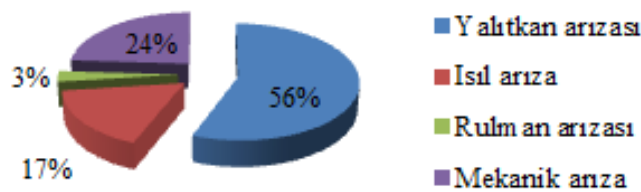
#### 2.4.8 Yüksek gerilim motorlarında KB ölçümü

Yüksek gerilim motorlarında KB ölçümünün birkaç önemli zorluğu bulunmaktadır. Birincisi, birçok farklı bölgede farklı boşalma olaylarının görülmesidir. İkincisi, endüstriyel bölgelerde kullanılan bu motorların sürekli şekilde yüksek elektromanyetik gürültü altında çalışıyor olmasıdır.

Motorlarda KB olayının belirtisi, transformatörlerde olduğundan daha karmaşık yapıdadır. Ancak ısıl aşırı yüklenme ya da kesintiler durumunda bu tip olayların varlığı kendini belli eder [31].

#### 2.4.9 Yüksek gerilim generatörlerinde KB ölçümü

Yüksek gerilim generatörlerinin güvenli şekilde çalışması, stator sargılarının ısıl, elektriksel, mekanik ve ortam koşullarına bağlı olan yalıtım sistemlerinin güvenli şekilde çalışması ile mümkündür. KB olayı, statorda meydana gelen arızaların en büyük sebebi ve en önemli göstergelerinden de birisidir (Şekil 2.14) [32].



Şekil 2.14 : YG generatörlerinin arıza istatistikleri.

Genellikle stator sargılarının uçlarında tespit edilen KB' ler, yalıtkan sistemlerdeki yalıtkanlık özelliklerinin zarar görmesinden ve bu nedenle elektriksel gerilimlere dayanımın azalmasından kaynaklanmaktadır. Fakat bazı tasarım ve üretim, nakliye ve kurulum hatalarından ya da doğal yaşlanma süreçlerinden ötürü KB' ler stator sargılarında meydana gelir ki KB' nin tespit edilmesi ve olası arızaların önlenmesi bu gibi durumlarda daha da güçleşmektedir [33].

### 3. İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER

İstatistik, bir konu veya olaya ait gözlemler sonucunda sayısal bilgi toplanması ve bu bilgilerin grafikler üzerinden şeklen ve büyüklük olarak yorumlanıp bilgi çıkarımı yapılmasıdır. Dolayısıyla istatistiksel bir olaydan söz etmek için incelenecek olayın belirlenmesi, olaya dair gözlem yapılması, gözlemden bilgi toplanıp veri elde edilmesi ve sayısal sonuçlardan değerlendirmeler yapılması gereklidir [34].

#### 3.1 Aritmetik Ortalama

Aritmetik ortalama, bir serideki verilerin toplamının serideki veri adedine bölünmesi ile elde edilen istatistiksel bir değerdir.

Eşitlik 1' de n sayıdaki bir X serisinin ortalama değerinin nasıl hesaplanacağı gösterilmiştir.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (3.1)$$

#### 3.2 Standart Sapma

$\bar{X}$  aritmetik ortalamasına sahip bir serideki her elemanın ortalama değere olan uzaklığı standart sapmayı ifade eder ve Eşitlik 2' deki gibi hesaplanır.

$$d_i = x_i - \bar{X} \quad (3.2)$$

2, 7 ve 12 değerlerinden oluşan bir seri için standart sapma değerleri hesaplanacak olsun.

Ortalama değer;  $\bar{X} = \frac{2+7+12}{3} = 7$  ve

Standart sapmalar;

$$d_2 = 2 - 7 = -5,$$

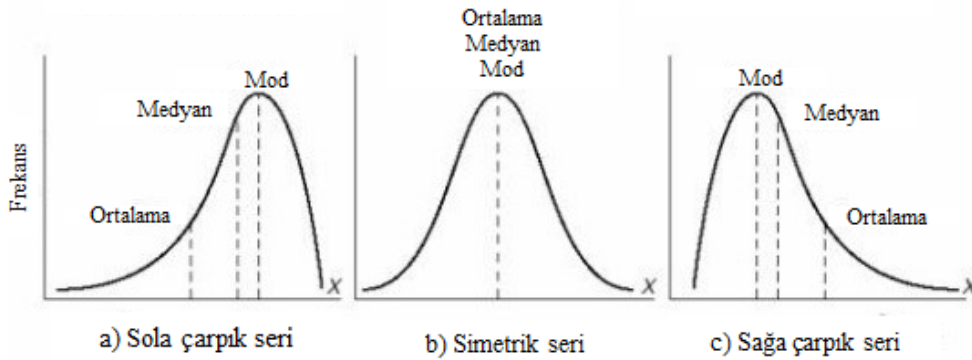
$$d_7 = 7 - 7 = 0,$$

$$d_{12} = 12 - 7 = 5' \text{ tir.}$$

### 3.3 Çarpıklık

Bir serideki verilerin modu (en yüksek frekansa sahip olanı), medyanı (veriler büyüklük sırasında dizilmiş durumda iken ortada olanı) ve ortalama değeri eşit ise serinin normal dağılıma sahip olduğu söylenebilir. Örneğin; 9, 6, 12, 9, 7, 11 serisinde mod (9 sayısı iki kez tekrarlıyor), medyan (seri küçükten büyüğe doğru 6, 7, 9, 9, 11, 12 şeklinde sıralanıyor ve seride çift sayıda eleman bulunduğu için ortadaki iki değer olan 3 ve 4. değerlerin aritmetik ortalaması 9) ve ortalaması  $\bar{X} = \frac{9+6+12+9+7+11}{6} = 9$  dur. Dolayısıyla bu serinin dağılımı normaldir.

Normal (simetrik) dağılıma sahip olmayan seriler için çarpıklık değerinden söz edilebilir (normal dağılımda çarpıklık sıfırdır). Eğer eğrinin çarpıklık değeri sıfırdan küçükse sola doğru çarpık, sıfırdan büyükse sağa doğru çarpıktır.



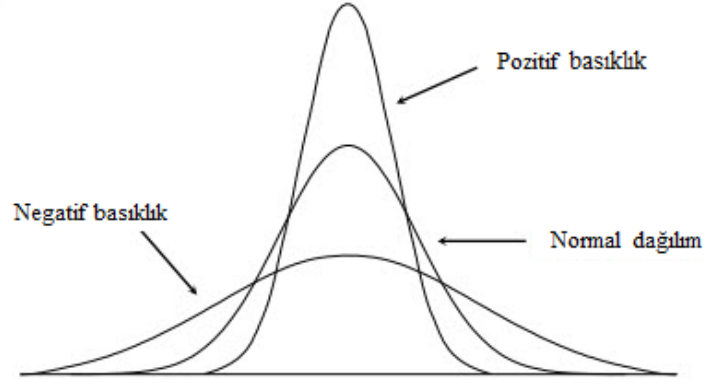
Şekil 3.1 : Seri dağılımının a) sola çarpık b) simetrik c) sağa çarpık olması.

Çarpıklık değerinin sıfırdan küçük olması, serinin aritmetik ortalamasının medyandan küçük olduğu anlamına gelir. Farklı bir deyişle, ortalamadan medyan çıkartıldığında elde edilen değer negatiftir [34].

### 3.4 Basıklık

Basıklık, istatistiksel dağılım eğrilerinin dik veya basık olmasını belirleyen parametredir. Basıklık katsayısı normal eğriler için sıfırdır. Negatif basıklığı olan eğriler basık, pozitif basıklığı olan eğriler ise dik kabul edilir.

Dik eğrilerin homojen olduğundan söz etmek mümkündür. Eğrideki değerler birbirine daha yakındır. Basık eğrilerde ise tam tersi şekilde heterojenlik söz konusudur. Değerler birbirinden uzaktır.



Şekil 3.2 : Seri dağılımlarının basıklık durumu.

### 3.5 Korelasyon

Dağılım eğrisinde bulunan iki değişken ya da dizinin birbiri ile uyumu (ya da benzerliği) korelasyon katsayısı ile ölçülür. Korelasyon katsayısı (r), - 1 ile 1 arasında değer alır.

$$-1 \leq r \leq +1 \quad (3.3)$$

Negatif korelasyon katsayısının da bir korelasyon ifadesi olmasından dolayı katsayıların mutlak değer olarak değerlendirilmesi daha doğrudur [34].

x ve y gibi iki farklı dizi için korelasyon katsayısı aşağıdaki şekilde hesaplanır;

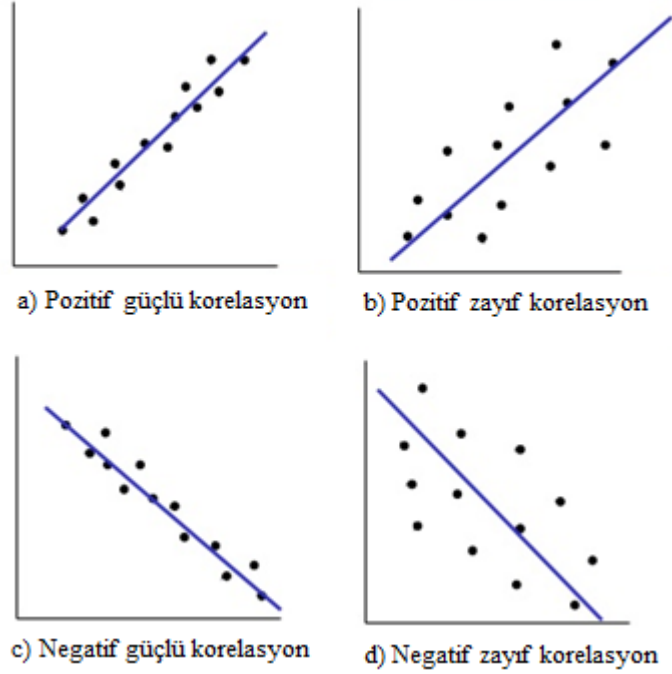
$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 \sum y^2}} \quad (3.4)$$

Korelasyon katsayısının 1' e yaklaşık olması ilişkinin güçlü, 0' a yaklaşık olması ise zayıf olduğunu ifade eder. Daha geniş bir ifade ile,

1.  $r = -1$  ise diziler arasında tam negatif doğrusal bir ilişki vardır.
2.  $r = 1$  ise diziler arasında tam pozitif doğrusal bir ilişki vardır.
3.  $r = 0$  ise diziler arasında doğrusal bir ilişki yoktur.
4.  $|r|$ , 1' e ne kadar yakın ise diziler arasındaki doğrusal ilişki o kadar güçlüdür [35].

Korelasyon katsayısının 0 olması ya da 0' a yakın bir değerde olması, incelenen diziler arasında ilişki olmadığını değil ilişkinin doğrusal olmadığını ifade eder. Başka bir ifadeyle, korelasyon katsayısı 0 olan diziler arasında da ilişki bulunabilir.

Korelasyon dağılımları incelenmek istenen dizilerin bir grafik üzerinde nokta dağılımları gösterilecek olursa ve bu noktalar arasından varsayıma dayalı bir doğru çizilse korelasyon özellikleri şu şekilde sınıflandırılabilir [36].



**Şekil 3.3 :** Seri dağılımlarının a) pozitif güçlü b) pozitif zayıf c) negatif güçlü d) negatif zayıf korelasyonlu olması.

Dizilerin korelasyon katsayıları hesaplanmak istendiğinde değişken sayılarının eşit olması gerekir. Eğer değişken sayıları eşit değil ise iterasyon ile değişken sayısı az olan dizinin değişken sayısı fazla olan dizideki değişken sayısına eşitleninceye kadar yeni değişkenleri türetilir. Diğer bir yöntem, değişken sayısı fazla olan dizideki değişkenleri, değişken sayısı az olan dizideki değişken sayısına göre azaltmaktır.

#### 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

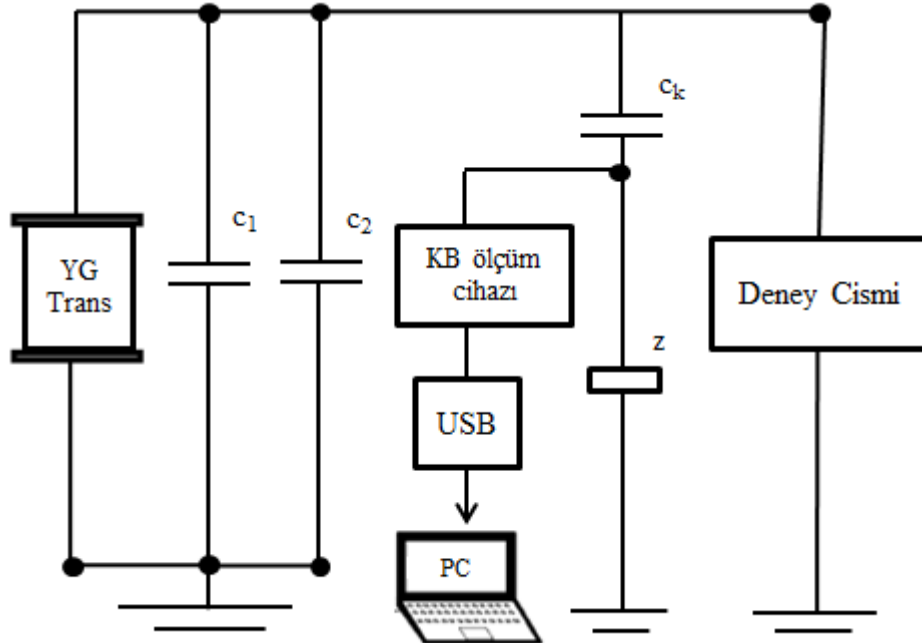
Gerçekleştirilen çalışmada, yüksek alternatif gerilimde kısmi boşalma olaylarının basınç ve gerilim değerlerine göre incelenmesi için Stuttgart Üniversitesi Enerji İletimi ve Yüksek Gerilim Teknolojisi Enstitüsü'nde yapılmış olan ölçümler analiz edilmiştir.

Ölçümlere bağlı olarak farklı gerilimlerde KB'lerin dağılımı ve ortaya çıkış aralıklarının eğrileri oluşturulmuş, sonuçlar yorumlanmıştır.

Ayrıca ölçüm değerlerinin istatistiksel sonuçlar olarak ortaya konması amacıyla histogram eğrileri çizilmiş, KB'lerin gerilim ve basınç değerlerine bağlı olarak ortaya çıkışlarının yorumlanabilmesi için aralarındaki bağlantılar korelasyon katsayıları ile hesaplanmıştır.

##### 4.1 Kısmi Boşalma Ölçüm Düzeneği

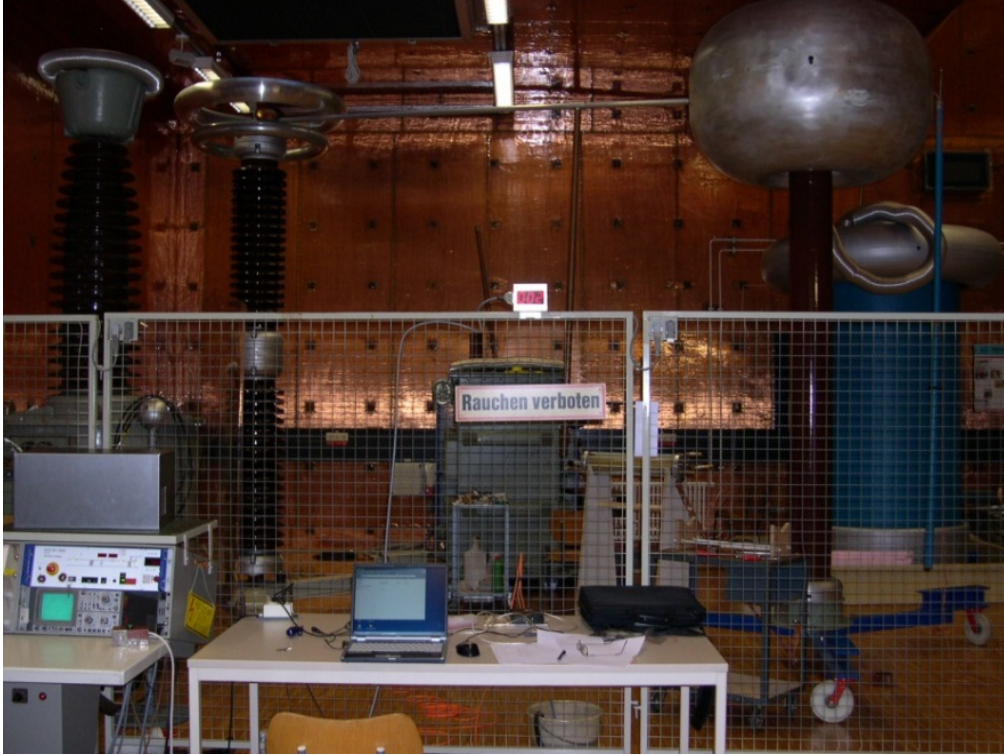
KB sinyallerinin oluşturulması için gerekli yüksek gerilimler Şekil 4.1' de gösterilen deney düzeneği ile laboratuvar ortamında üretilmiş ve KB'lerin ölçümü gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.1 : Kısmi boşalma ölçme devresi.

Deney düzeneğinde 50 Hz, 175 kVA, 0,5 / 350 kV' luk bir YG transformatörü, 2,5 nF ( $c_1$ ) ve 75 pF ( $c_2$ )' lık iki adet YG kondansatörü, 100 pF – 1 nF arasında

ayarlanabilen kuplaj kapasitörü, Omicron MPD 5400 model KB kayıt cihazı ve cihazın kaydettiği optik sinyalleri elektrik sinyallerine çeviren Omicron MCU 502 fiber optik bus denetleyici (USB) ile sinyallerin görüntülediği bir adet bilgisayar (PC) ve deney cismi olarak ise çubuk- düzlem elektrot sistemi kullanılmıştır. Çubuk elektrot ve düzlem elektrot, aralarında 2 cm boşluk olacak şekilde basınçlı deney kabına yerleştirilmiştir. Çubuk ve düzlem elektrotların uçları, sivri uç teşkil etmeyecek şekilde yuvarlaklaştırılmıştır.



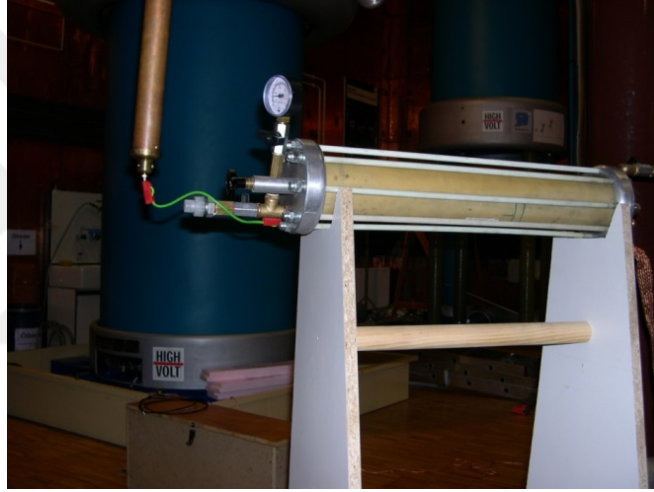
Şekil 4.2 : Deney ortamının genel görünüşü.



Şekil 4.3 : 50 Hz, 175 kVA, 0,5/350 kV' luk deney transformatörü.



Şekil 4.4 : 100 pF – 1 nF arasında ayarlanabilen kuplaj kapasitörü.



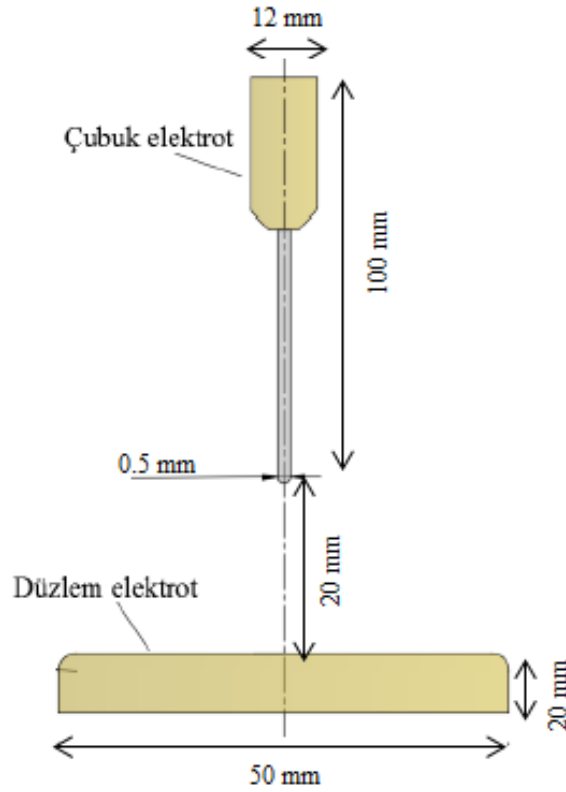
Şekil 4.5 : Deney cisminin olduğu kap.



Şekil 4.6 : MCU 502 ve MPD 5400 ile bağlantısı.



Şekil 4.7 : Çubuk elektrot.



Şekil 4.8 : Çubuk ve düzlem elektrottan oluşan deney cismi.

Sistem enerjilendirilmeden önce Haefely markasına ait 451 model nolu KB kalibratörü ( $c_k$ ) ile sistemin çalışıp çalışmadığı kontrol edilir. Sistemin çalışır durumda olduğu görüldükten sonra kalibratör devreden çıkarılır.

Daha sonra sistem enerjilendirilip YG transformatörü ile şebeke gerilimi YG' e çevrilerek  $c_1$  ve  $c_2$  kondansatörleri üzerinden geçirilerek aralarında 2 mm açıklık bulunan çubuk- düzlem elektrot sisteminden oluşan deney cisminde KB sinyallerinin oluşması sağlanır.

Meydana gelen KB sinyalleri, Omicron MPD 5400 model KB kayıt cihazı ile kaydedilip Omicron MCU 502 fiber optik bus denetleyici (USB) ile kaydedilen optik

sinyaller elektrik sinyallerine çevrilir ve elektrik sinyalleri USB' ye bağlı PC ile görüntülenir.

## 4.2 Kısmi Boşalma Ölçüm Grafikleri

Basınç değerleri 1 bar, 2 bar ve 3 bar olmak üzere gerilim seviyelerindeki artışla birlikte meydana gelen KB sinyalleri için kaydedilen ölçümler bu bölümde verilmiştir.

### 4.2.1 1 bar basınç altında kaydedilen ölçümler

Basınç 1 bar seviyesinde iken 8.2 kV' tan itibaren KB sinyalleri görülmeye başlanmıştır. Bu gerilim seviyesinde ölçülen KB sinyallerinin maksimumu, negatif periyotta gerçekleşen 0.68 pC' luk genliğe sahip sinyaldir. Bu değer, sıfıra yakın çok düşük bir değer olduğundan 8.2 kV ölçümleri çalışma değerlendirmesine dahil edilmemiştir fakat KB' lerin dağılım grafiği bu bölümde verilmiştir.

8.2 kV gerilim seviyesinde Omicron MPD 5400 ile yapılan ölçümlerin bir kısmı Çizelge 4.1' de verilmiştir. Çizelgedeki ölçümlerde KB genliği pC, ölçümler arasında geçen zaman da  $\mu$ s cinsindedir.

**Çizelge 4.1 :** 1 bar 8.2 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı.

KB' nin ortaya çıkış zaman aralığı ( $\mu$ s)	KB genliği (pC)
0.000	0.476
6.047	-0.307
13.016	-0.302
11.250	0.163
6.563	0.281
7.750	-0.159
4.984	0.488
8.110	0.228
5.796	0.158
6.407	0.244
7.578	-0.321
7.180	0.616
35.290	0.583
10.800	-0.680
22.000	-0.632

Basınç 1 bar iken alınan ölçümlerin diğer kısmı 10.2 kV, 12 kV, 15.6 kV ve 18.3 kV gerilim seviyelerine gerçekleşmiştir. Bu gerilim seviyelerinde Omicron MPD 5400 ile yapılan ölçümlerin bir kısmı Çizelge 4.2, Çizelge 4.3, Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'te verilmiştir.

**Çizelge 4.2 :** 1 bar 10.2 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı.

KB' nin ortaya çıkış zaman aralığı ( $\mu$ s)	KB genliği (pC)
0.000	-0.286
4.156	-0.262
7.094	0.340
14.000	0.282
3.594	-0.266
10.172	-0.417
13.060	129.330
10.400	-121.901
14.300	10.144
24.400	-10.433

10.2 kV gerilim seviyesinde ölçülen maksimum KB genliği 129.33 pC' dur.

**Çizelge 4.3 :** 1 bar 12 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı.

KB' nin ortaya çıkış zaman aralığı ( $\mu$ s)	KB genliği (pC)
0.000	-0.697
3.875	0.646
5.297	0.277
11.547	-0.844
20.469	0.598
14.593	0.716
13.500	0.975
17.235	0.623
2.765	0.476
10.950	132.902
6.900	-98.936
16.800	-77.046
7.200	240.563
13.500	-92.938

12 kV gerilim seviyesinde ölçülen maksimum KB genliği 240.563 pC' dur.

**Çizelge 4.4 :** 1 bar 15.6 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı.

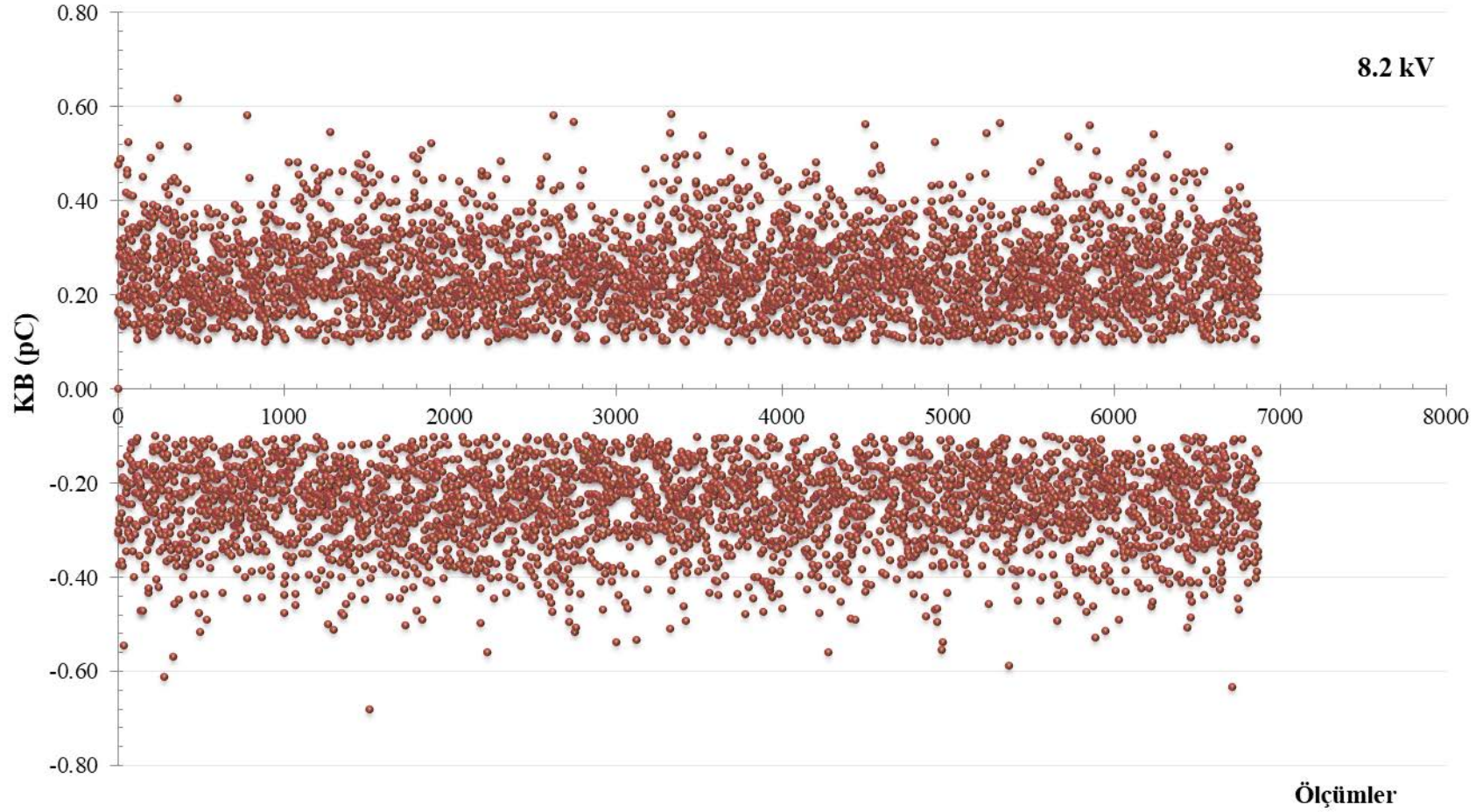
KB' nin ortaya çıkış zaman aralığı ( $\mu$ s)	KB genliği (pC)
0.000	0.495
4.781	-0.606
8.156	0.384
3.031	0.392
3.344	0.395
5.875	-0.576
3.203	-0.482
7.450	48.778
5.900	-50.946
6.200	-73.709

15.6 kV gerilim seviyesinde ölçülen maksimum KB genliği negatif periyotta kaydedilen 73.709 pC' dur.

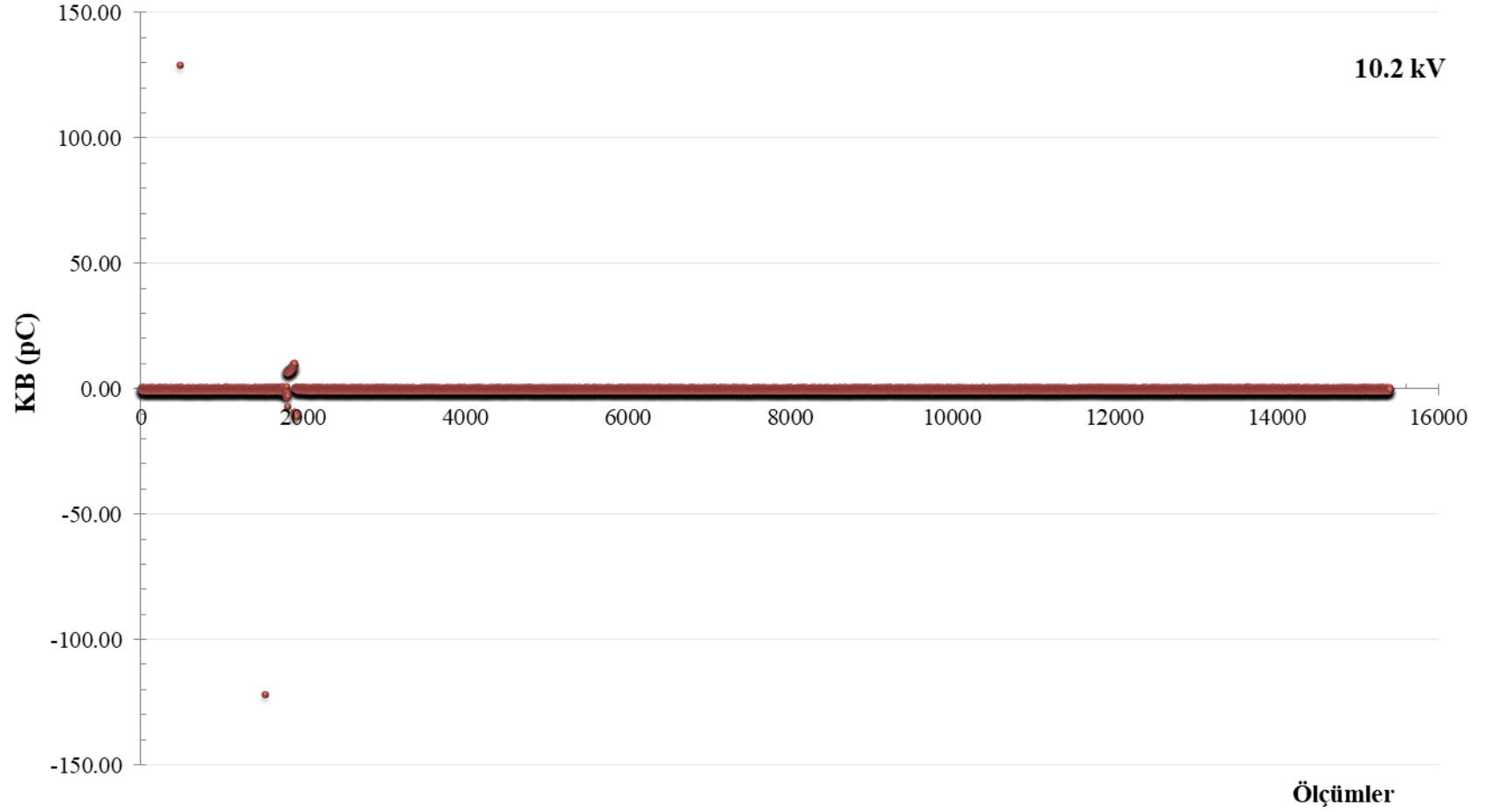
**Çizelge 4.5 :** 1 bar 18.3 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı.

KB' nin ortaya çıkış zaman aralığı ( $\mu$ s)	KB genliği (pC)
0.000	0.423
7.391	6.541
21.000	0.457
5.406	0.247
4.063	0.221
8.050	27.115
15.000	-32.092
10.000	17.869
6.000	-37.840
14.700	27.460

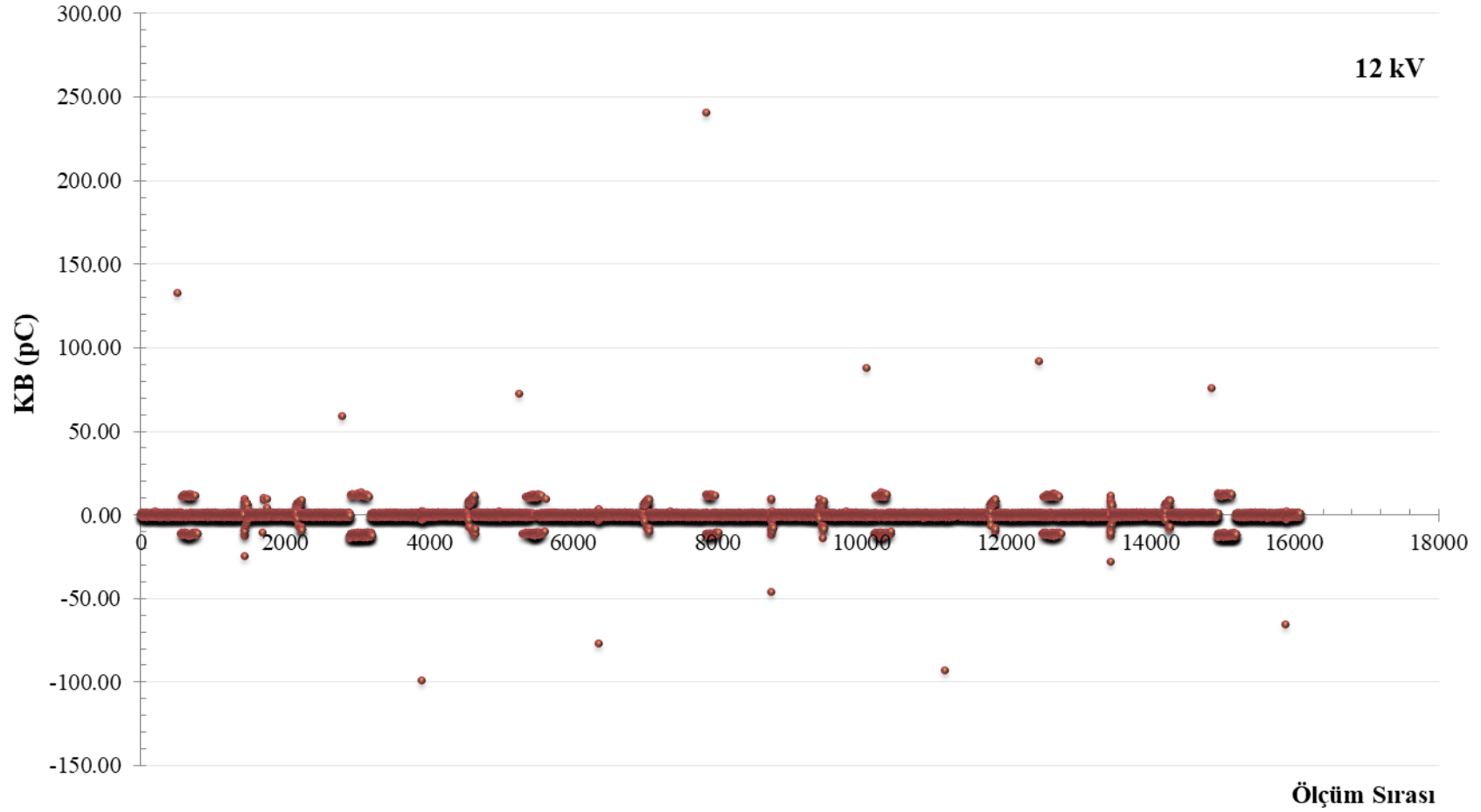
18.3 kV gerilim seviyesinde ölçülen maksimum KB genliği negatif periyotta kaydedilen 37.84 pC' dur.Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3, Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5' te verilmiş olan ölçümlerin tüm deney süresince elde edilmiş olan değerlerinin dağılım grafikleri Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13' te verilmiştir.



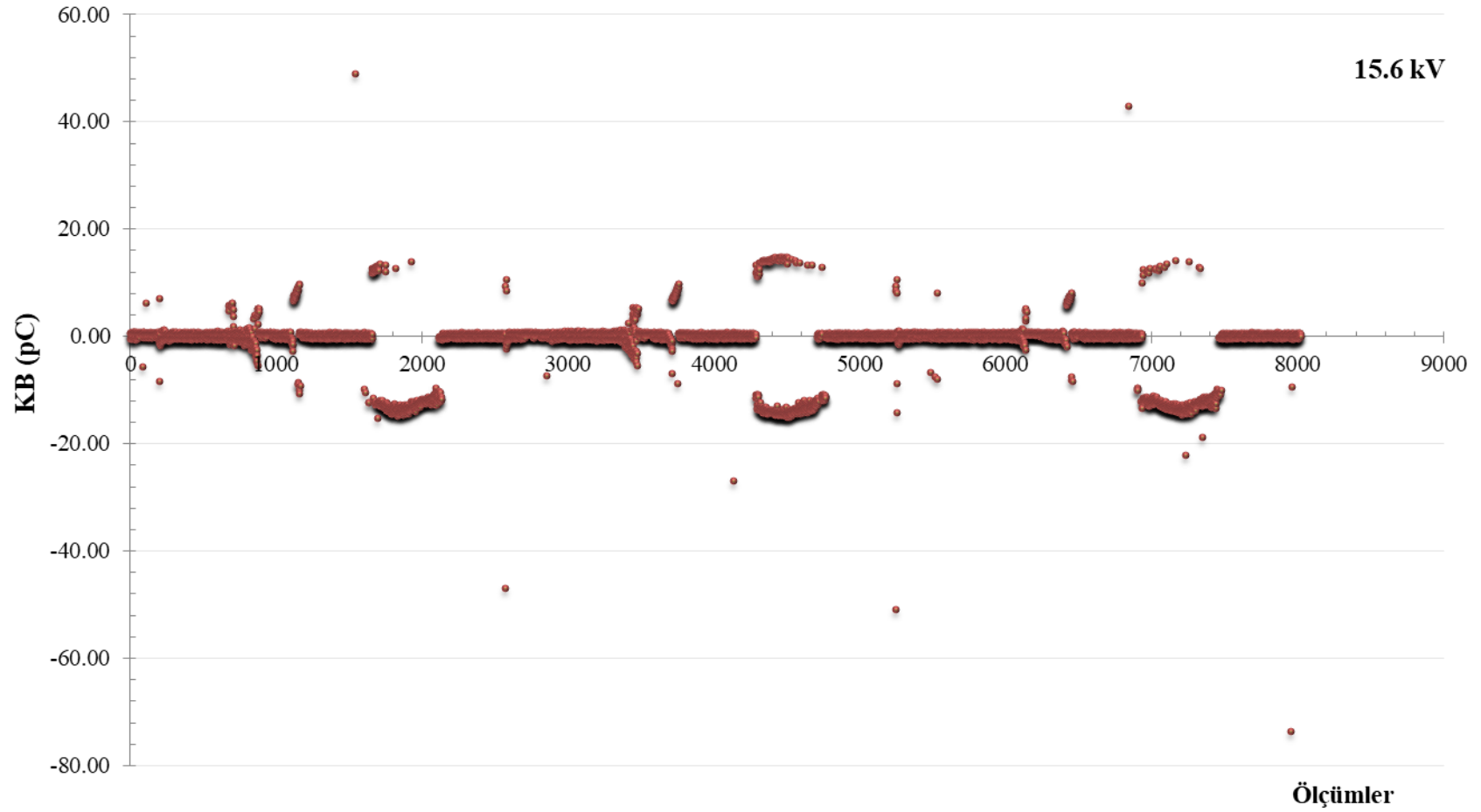
Şekil 4.9 : 1 bar 8.2 kV' ta kaydedilen 6 870 adet ölçüme göre KB' lerin dağılım grafiği.



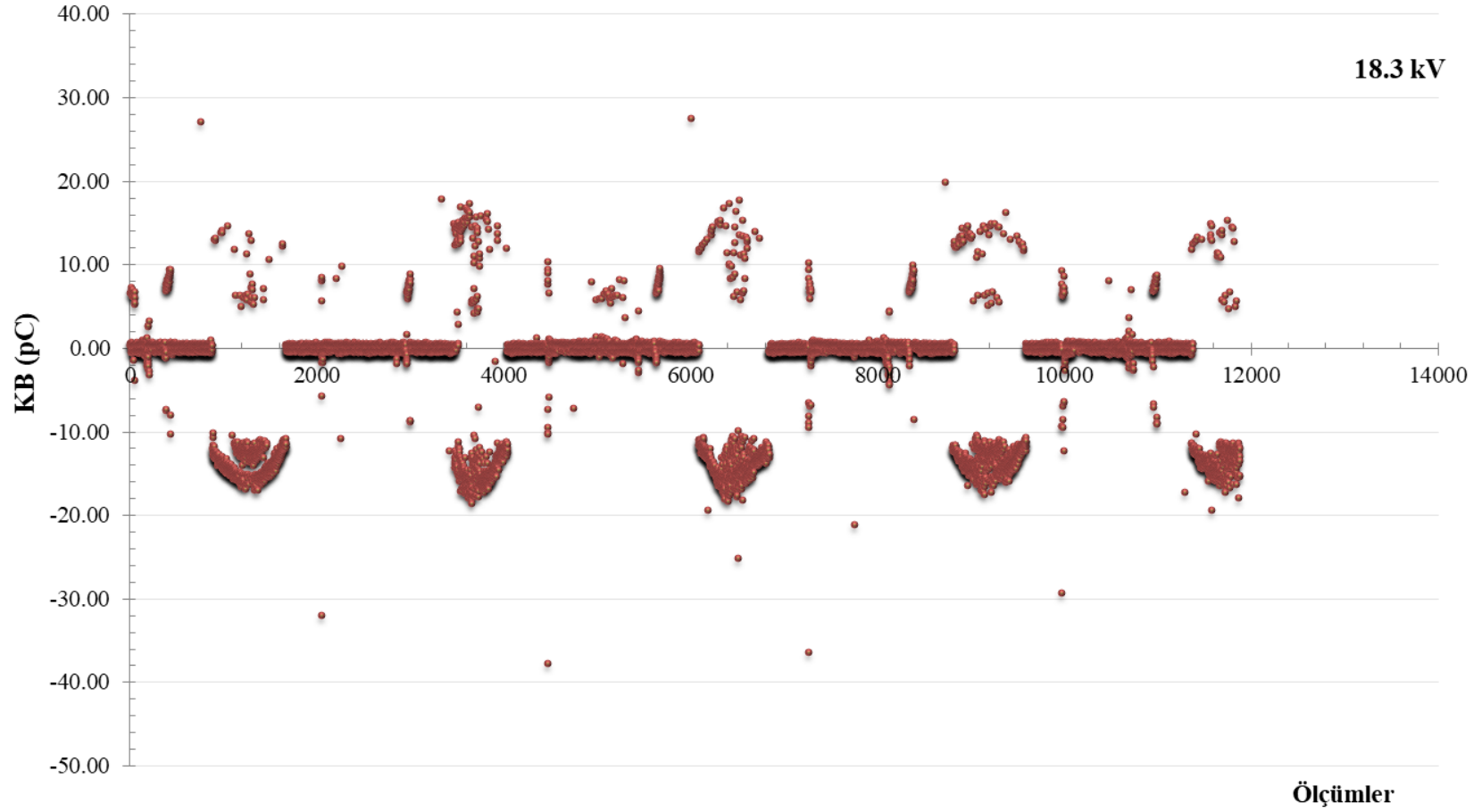
Şekil 4.10 : 1 bar 10.2 kV' ta kaydedilen 15 404 adet ölçüme göre KB' lerin dağılım grafiği.



Şekil 4.11 : 1 bar 12 kV' ta kaydedilen 16 084 adet ölçüme göre KB' lerin dağılım grafiği.



Şekil 4.12 : 1 bar 15.6 kV' ta kaydedilen 8 019 adet ölçümde KB' lerin dağılım grafiği.



Şekil 4.13 : 1 bar 18.3 kV' ta kaydedilen 11 872 adet ölçümde KB' lerin dağılım grafiği.

#### 4.2.2 2 bar basınç altında kaydedilen ölçümler

Basınç 2 bar seviyesinde iken 10.93 kV' tan itibaren KB sinyalleri görülmeye başlanmıştır. Bu gerilim seviyesinde ölçülen KB sinyallerinin maksimumu, 0.667 pC' luk genliğe sahip sinyaldir. Bu değer, sıfıra yakın çok düşük bir değer olduğundan 10.93 kV ölçümleri çalışma değerlendirmesine dahil edilmemiştir fakat KB' lerin dağılım grafiği bu bölümde verilmiştir.

10.93 kV gerilim seviyesinde Omicron MPD 5400 ile yapılan ölçümlerin bir kısmı Çizelge 4.6' da verilmiştir.

**Çizelge 4.6 :** 2 bar 10.93 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı.

KB' nin ortaya çıkış zaman aralığı ( $\mu$ s)	KB genliği (pC)
0.000	-0.124
5.922	0.144
5.906	0.152
5.234	0.217
9.109	0.188
4.641	0.151
5.297	-0.296
3.422	0.154
4.735	-0.264
5.687	0.204
6.110	-0.307
7.234	-0.382
4.937	-0.330
136.407	-0.247
4.578	0.207
10.687	0.122
3.985	0.102
5.968	-0.302
9.000	-0.625
7.700	0.667

Basınç 2 bar iken alınan ölçümlerin diğer kısmı 12.39 kV, 13.62 kV, 15.38 kV, 18.47 kV ve 20.24 kV gerilim seviyelerine gerçekleşmiştir. Bu gerilim seviyelerinde Omicron MPD 5400 ile yapılan ölçümlerin bir kısmı Çizelge 4.7, Çizelge 4.8, Çizelge 4.9, Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11' de verilmiştir.

**Çizelge 4.7 :** 2 bar 12.39 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı.

KB' nin ortaya çıkış zaman aralığı ( $\mu$ s)	KB genliği (pC)
0.000	0.140
7.891	0.225
30.297	-0.380
9.047	0.432
7.813	0.313
725.734	0.499
11.735	0.227
9.250	-0.481
28.203	-0.141
8.328	-0.434
14.440	41.112
7.200	-42.435
11.600	37.651
6.300	39.030
6.800	-38.383

12.39 kV gerilim seviyesinde ölçülen maksimum KB genliği negatif periyotta kaydedilen 42.435 pC' dur.

**Çizelge 4.8 :** 2 bar 13.62 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı.

KB' nin ortaya çıkış zaman aralığı ( $\mu$ s)	KB genliği (pC)
0.000	-0.239
13.203	9.673
43.297	-0.466
6.078	0.413
7.703	-0.447
801.516	-0.425
3.422	-0.164
7.875	-0.279
20.640	-0.348
20.985	0.223
4.047	0.344
8.540	47.753
13.300	43.926
7.900	-20.809
11.900	-52.030

13.62 kV gerilim seviyesinde ölçülen maksimum KB genliği negatif periyotta kaydedilen 53.944 pC' dur.

**Çizelge 4.9** : 2 bar 15.38 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı.

KB' nin ortaya çıkış zaman aralığı ( $\mu$ s)	KB genliği (pC)
0.000	-0.186
9.844	-0.328
9.641	0.324
7.234	0.133
5.391	-0.210
8.920	34.359
9.400	18.938
11.500	-21.822
7.000	44.179
19.200	-24.060

15.38 kV gerilim seviyesinde ölçülen maksimum KB genliği 44.179 pC' dur.

**Çizelge 4.10** : 2 bar 18.47 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı.

KB' nin ortaya çıkış zaman aralığı ( $\mu$ s)	KB genliği (pC)
0.000	0.420
7.313	0.484
4.188	0.198
21.922	0.310
1015.938	4.872
8.060	-10.088
23.770	4.668
15.170	-0.545
20.000	0.910
7.500	-24.847
20.980	-17.208
1149.340	-0.383
4.180	0.584
3.640	-0.333
14.940	53.072
14.300	-31.235
8.200	18.122
9.000	28.956

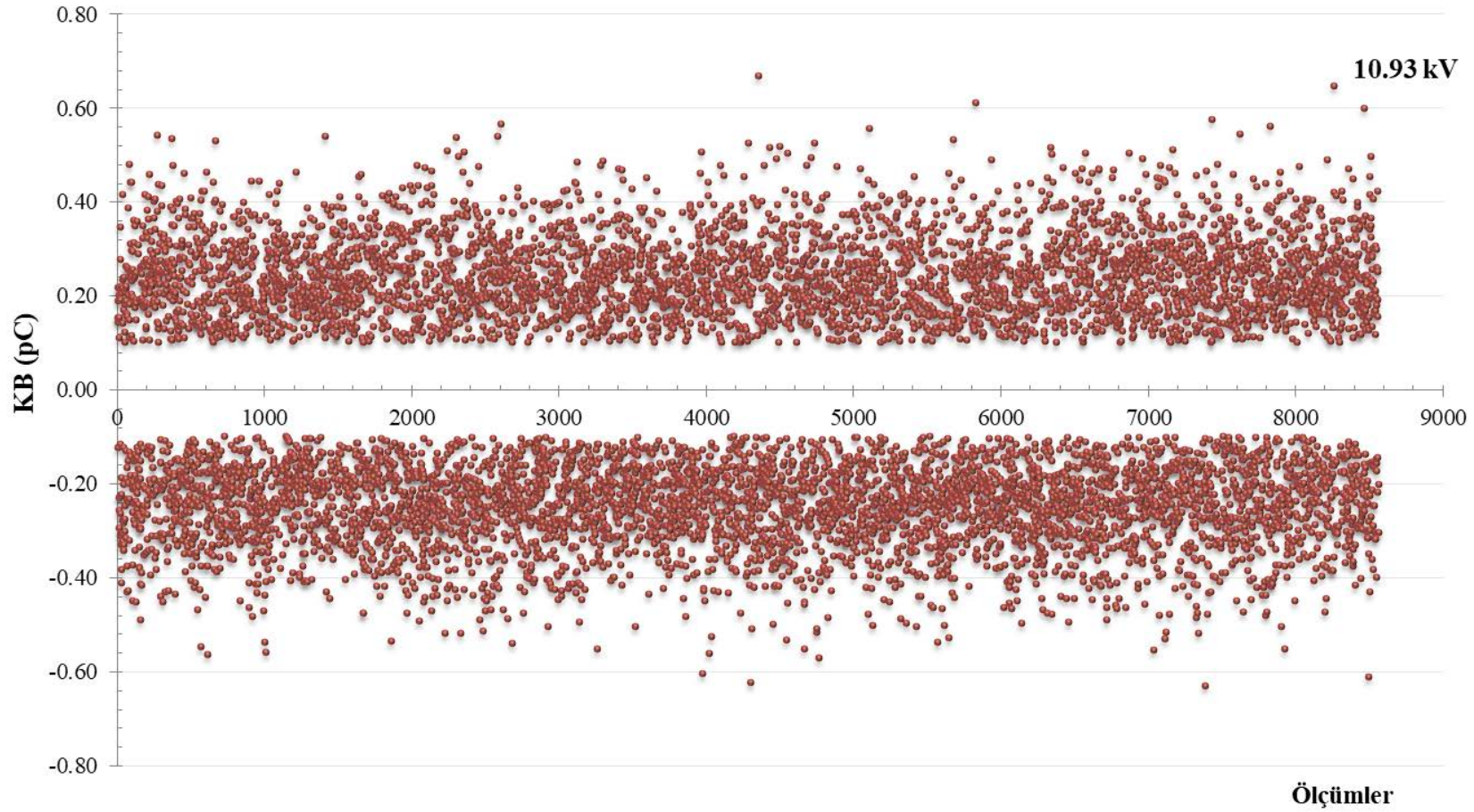
18.47 kV gerilim seviyesinde ölçülen maksimum KB genliği 53.072 pC' dur.

**Çizelge 4.11** : 2 bar 20.24 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı.

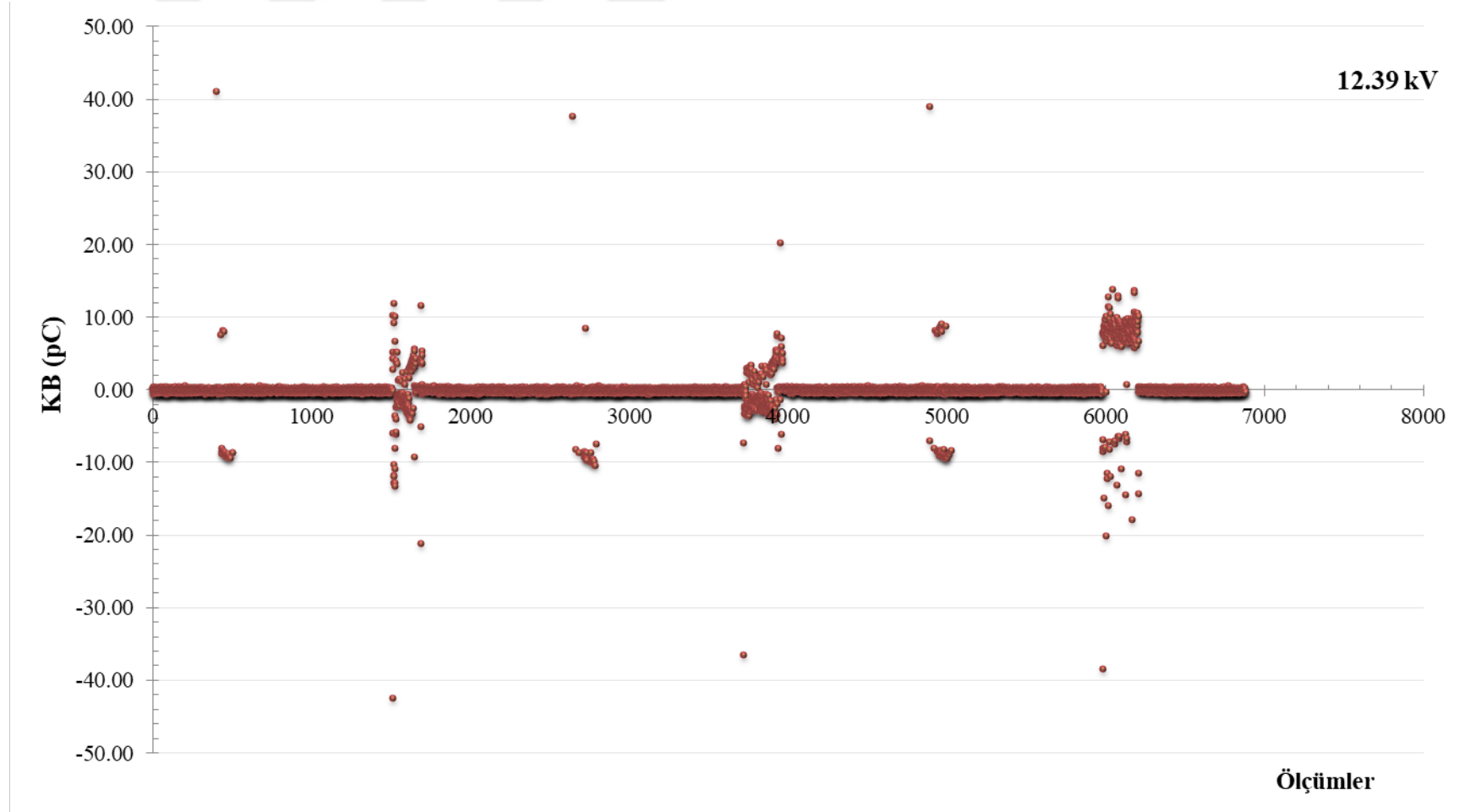
KB' nin ortaya çıkış zaman aralığı ( $\mu$ s)	KB genliği (pC)
0.000	-0.122
3.578	0.229
64.078	0.202
9.594	-0.289
8.797	-0.189
3.469	0.149
4.969	-0.227
24.860	38.242
-113.313	-0.208
4.641	0.142
25.703	0.133
31.234	-0.373
21.078	0.423
23591.866	-0.140
9.900	-0.412
4.500	0.194
4.600	-0.201
1.500	0.201
5.900	8.850
45.300	-0.357
9.200	-0.150
3.300	-0.149
21.100	32.417
9.900	-23.384
8.400	40.943
6.000	-40.071
14.700	54.057
6.300	-40.268
9.300	16.152

20.24 kV gerilim seviyesinde ölçülen maksimum KB genliği 54.057 pC' dur.

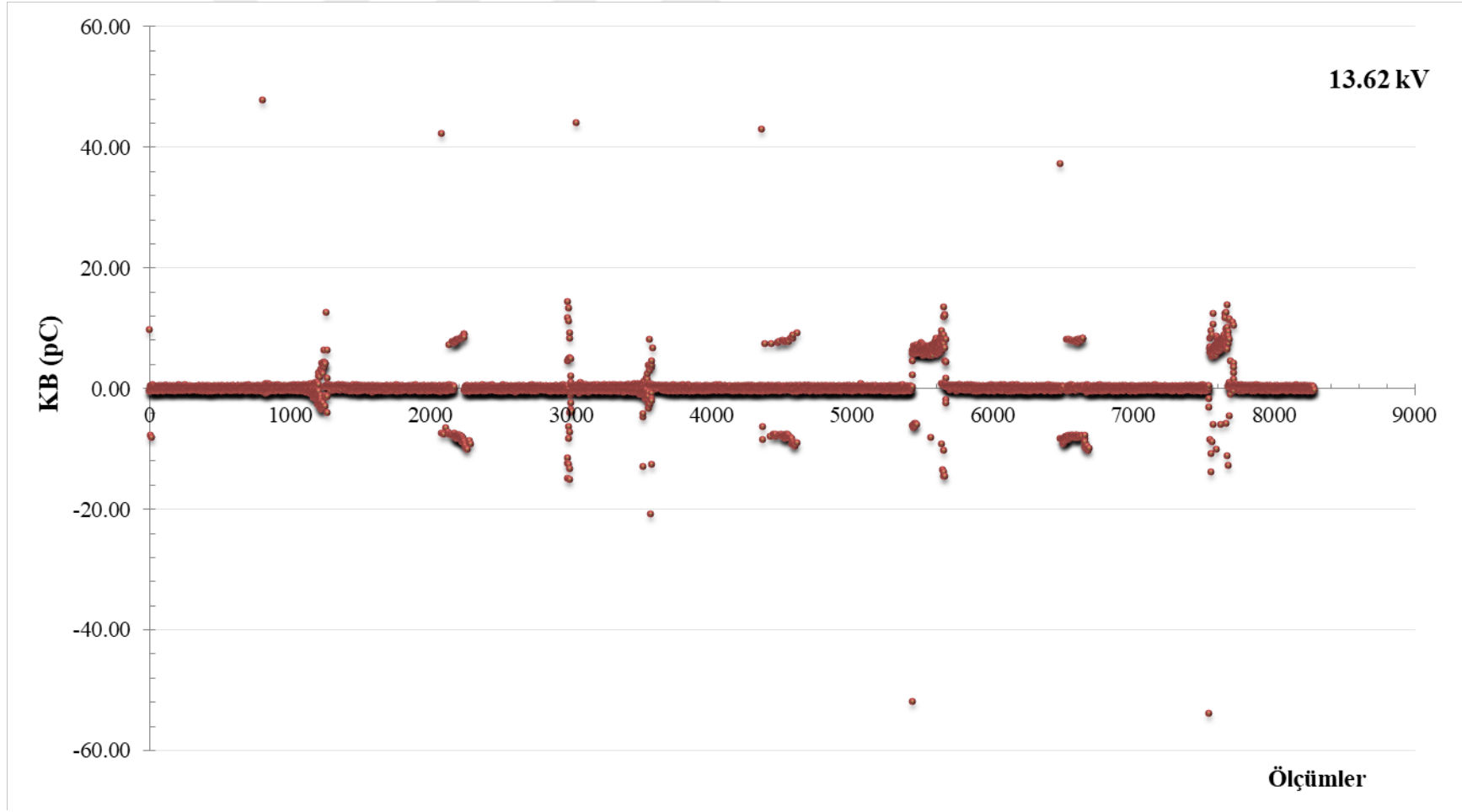
Çizelge 4.6, Çizelge 4.7, Çizelge 4.8, Çizelge 4.9, Çizelge 4.10 ve Çizelge 4.11' te verilmiş olan ölçümlerin tüm deney süresince elde edilmiş olan değerlerinin dağılım grafikleri Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16, Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19' de verilmiştir.



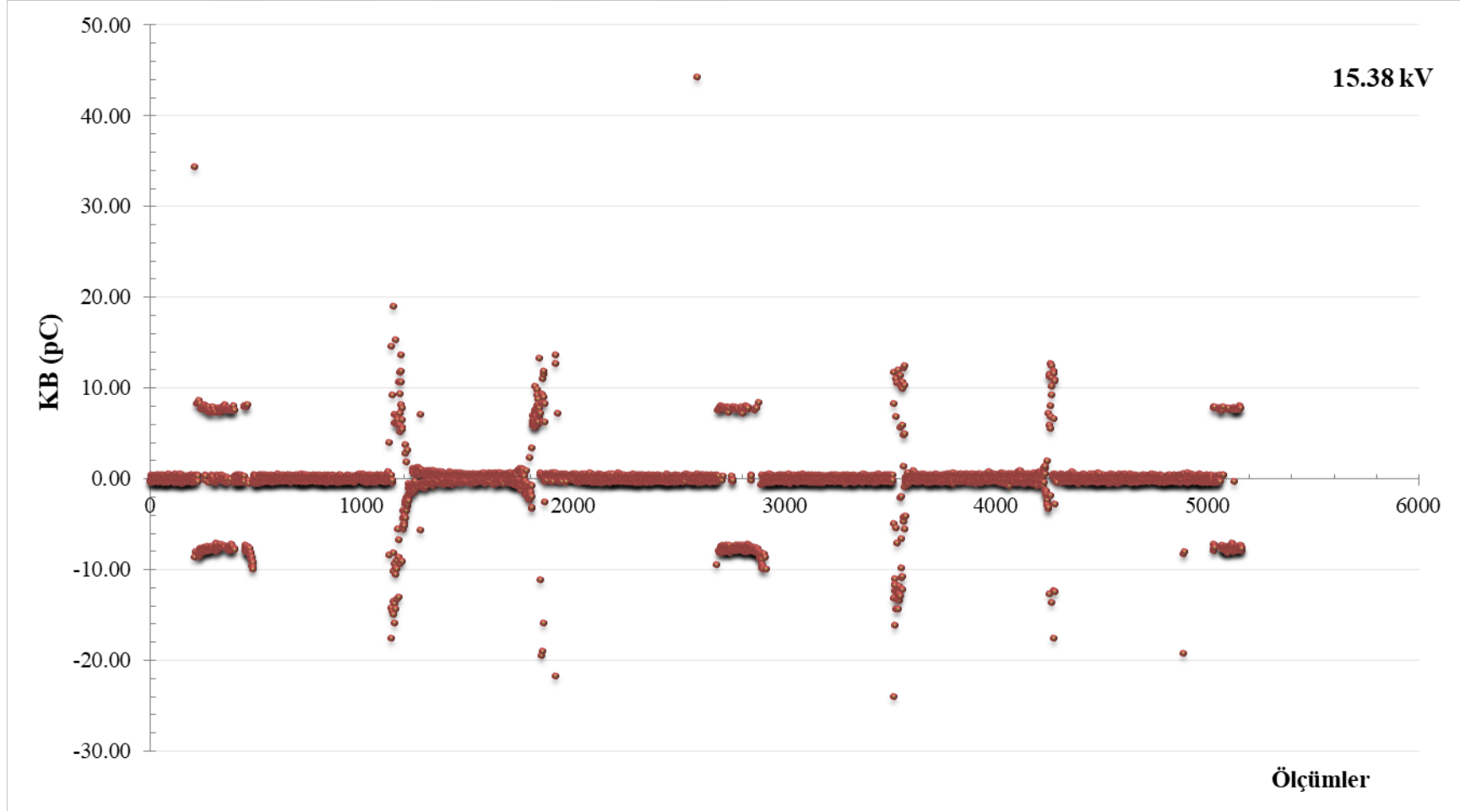
Şekil 4.14 : 2 bar 10.93 kV' ta kaydedilen 8 559 adet ölçümde KB' lerin dağılım grafiği.



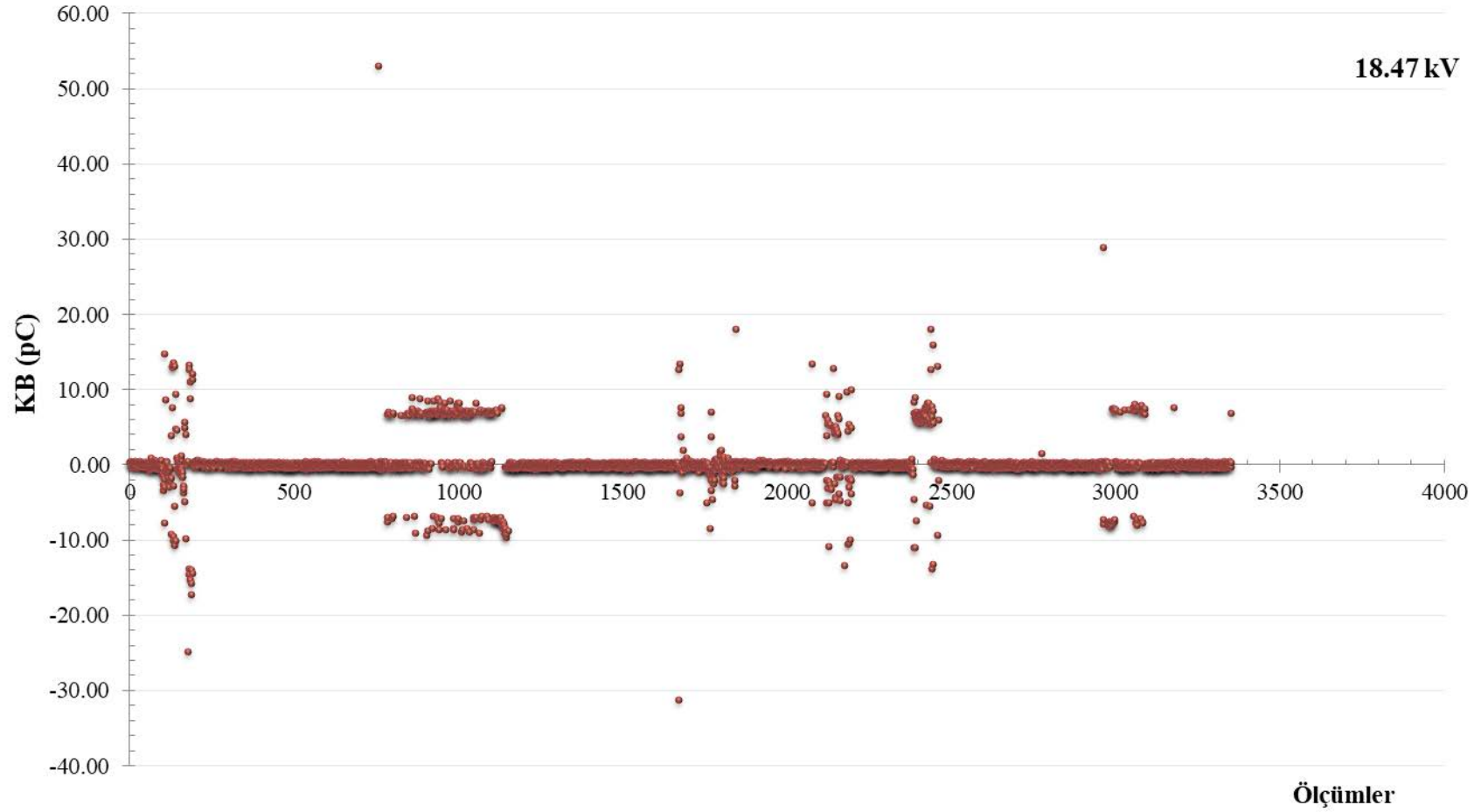
Şekil 4.15 : 2 bar 12.39 kV' ta kaydedilen 6 881 adet ölçümde KB' lerin dağılım grafiği.



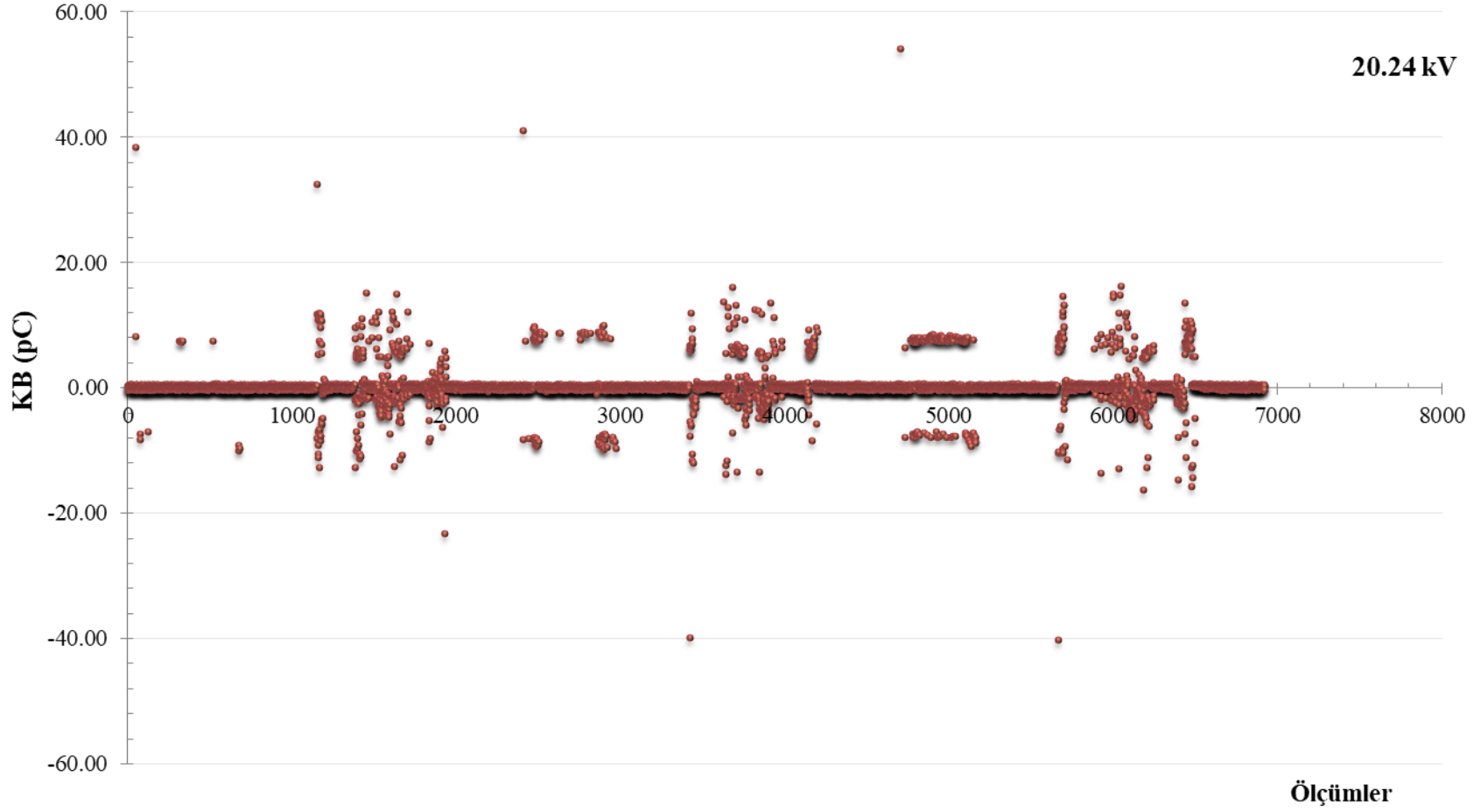
Şekil 4.16 : 2 bar 13.62 kV' ta kaydedilen 8 285 adet ölçümde KB' lerin dağılım grafiği.



Şekil 4.17 : 2 bar 15.38 kV' ta kaydedilen 5 164 adet ölçümde KB' lerin dağılım grafiği.



Şekil 4.18 : 2 bar 18.47 kV' ta kaydedilen 3 351 adet ölçümde KB' lerin dağılım grafiği.



Şekil 4.19 : 2 bar 20.24 kV' ta kaydedilen 6 921 adet ölçümde KB' lerin dağılım grafiği.

#### 4.2.3 3 bar basınç altında kaydedilen ölçümler

Basınç 3 bar seviyesinde iken 13.54 kV' tan itibaren KB sinyalleri görülmeye başlanmıştır. Bu gerilim seviyesinde ölçülen KB sinyallerinin maksimumu, 14.133 pC' luk genliğe sahip sinyaldir..

13.54 kV gerilim seviyesinde Omicron MPD 5400 ile yapılan ölçümlerin bir kısmı Çizelge 4.12' da verilmiştir.

**Çizelge 4.12** : 3 bar 13.54 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı.

KB' nin ortaya çıkış zaman aralığı ( $\mu$ s)	KB genliği (pC)
0.000	-0.242
5.016	-0.237
10.672	-0.256
3.344	0.141
5.200	-5.118
18.600	-7.619
16.600	14.077
4.700	-5.987
10.300	-3.426
9.200	14.133

13.54 kV gerilim seviyesinde ölçülen maksimum KB genliği 14.133 pC' dur.

**Çizelge 4.13** : 3 bar 15.5 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı.

KB' nin ortaya çıkış zaman aralığı ( $\mu$ s)	KB genliği (pC)
0.000	-0.448
15.719	-0.249
5.297	0.139
7.234	-0.496
14.703	-0.365
12.100	-27.253
8.300	-25.213
16.200	-29.237
11.600	16.884
6.100	17.601

15.5 kV' ta ölçülen maksimum KB genliği negatif periyottaki 29.237 pC' dur.

**Çizelge 4.14 :** 3 bar 16.75 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı.

KB' nin ortaya çıkış zaman aralığı ( $\mu$ s)	KB genliği (pC)
0.000	-0.829
4.547	1.637
5.297	-1.270
4.891	-0.602
3.906	-0.491
10.000	-25.832
6.800	21.907
9.700	-26.564
5.400	-24.060
14.800	19.473

16.75 kV' ta ölçülen maksimum KB genliği negatif periyottaki 26.564 pC' dur.

**Çizelge 4.15 :** 3 bar 18.94 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı.

KB' nin ortaya çıkış zaman aralığı ( $\mu$ s)	KB genliği (pC)
0.000	0.375
4.109	0.180
1.422	0.180
4.938	0.245
6.250	0.431
13.844	0.112
10.063	0.352
3767.845	-0.173
4.940	0.280
11.320	-0.345
6.100	0.168
9.090	-0.105
9.280	-27.000
5257.500	0.349
8.000	0.163
109.900	0.271
9.100	-0.119
8.400	-19.473
9.700	17.869

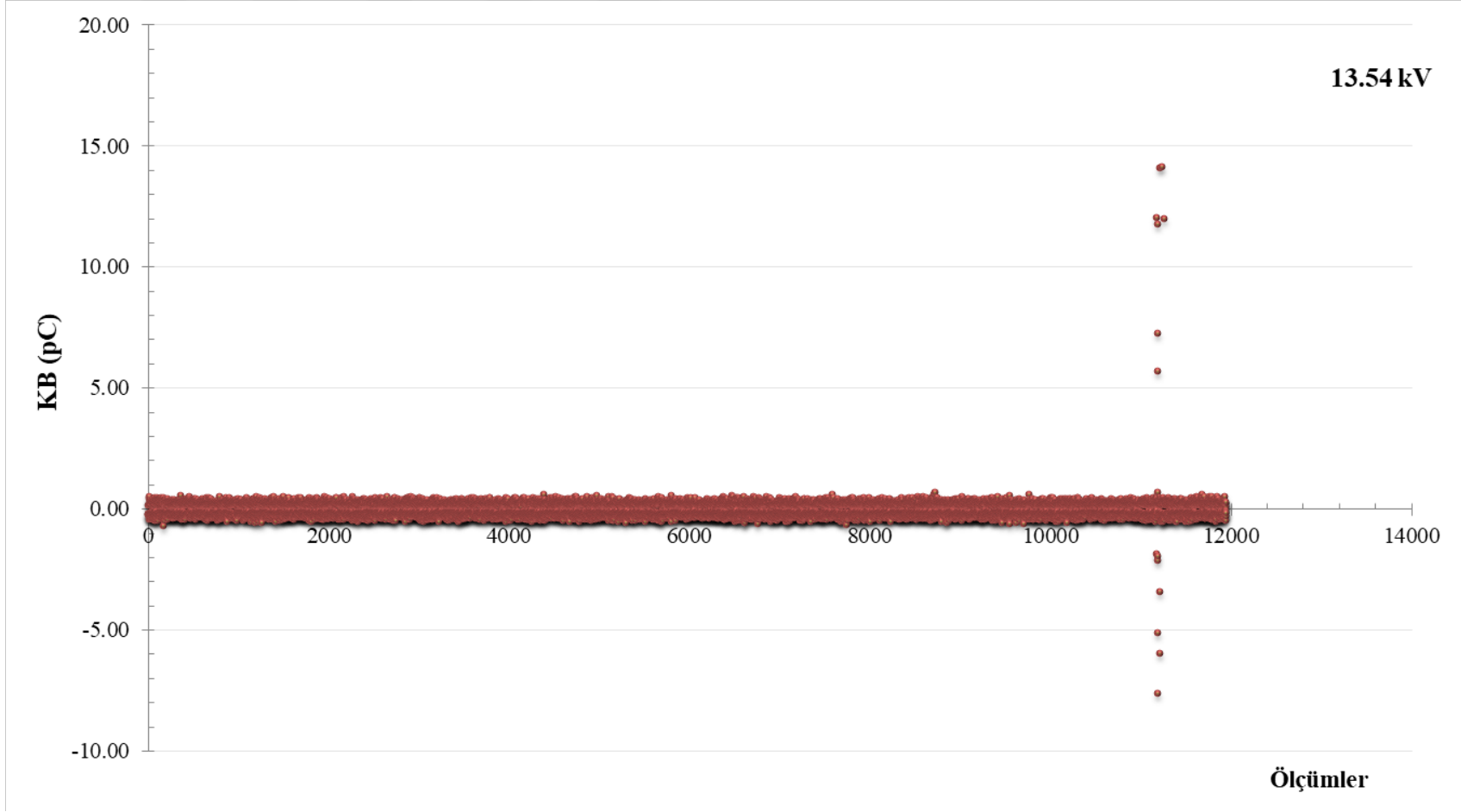
18.94 kV' ta ölçülen maksimum KB genliği negatif periyottaki 27 pC' dur.

**Çizelge 4.16** : 3 bar 20.54 kV deney gerilimi için elde edilen ölçümlerin bir kısmı.

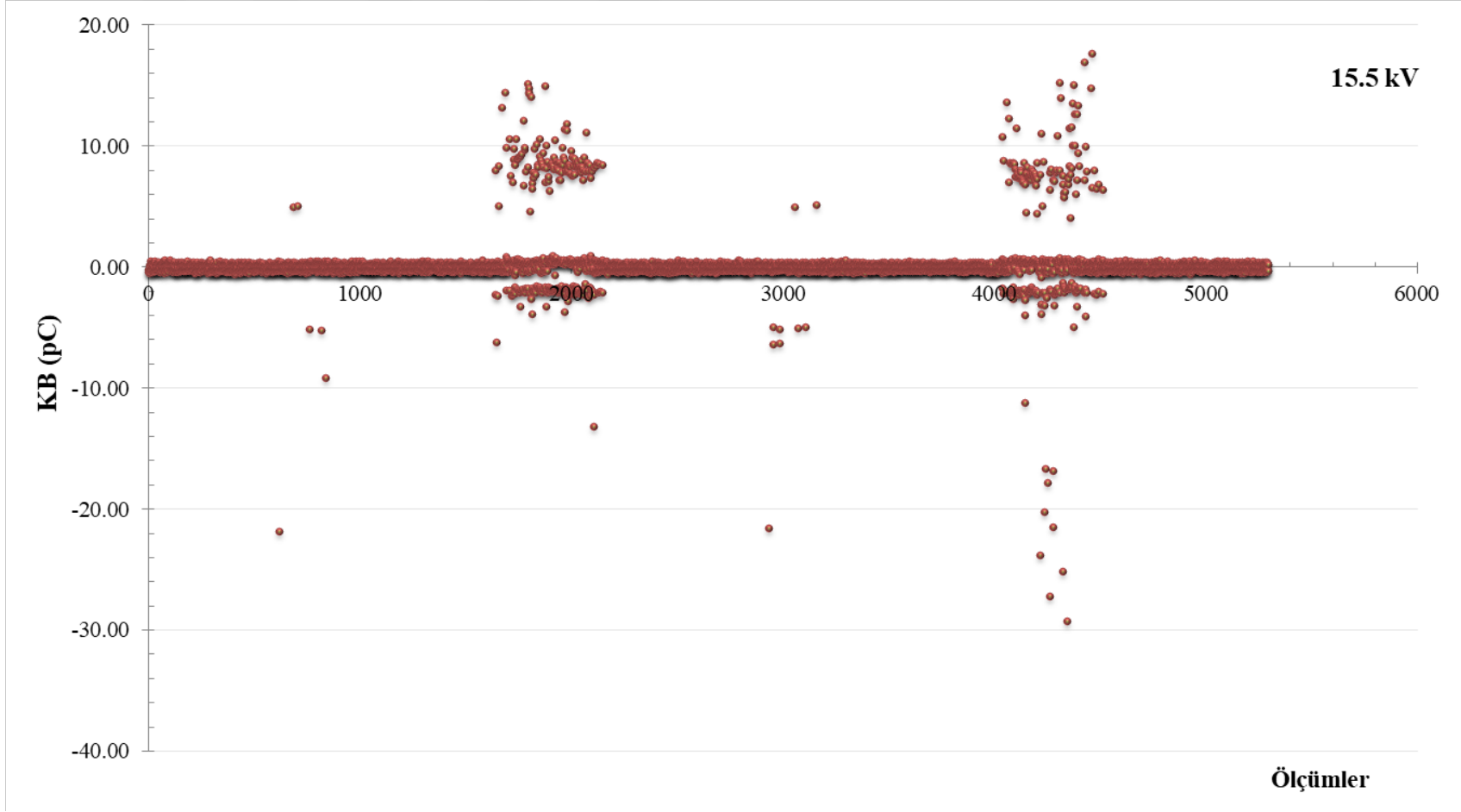
KB' nin ortaya çıkış zaman aralığı ( $\mu$ s)	KB genliği (pC)
0.000	0.344
17.047	-0.416
12.328	-0.209
3.359	0.128
13.400	17.461
8.440	-24.988
11.750	18.024
5.020	18.221
11.090	-16.293
12.670	-18.291
19787.580	-0.241
2.400	0.474
5.600	1.264
11.500	-5.009
11.000	2.717
12.200	0.415
5.200	-1.592
5.700	-0.401
9.600	0.436
6.600	-0.546
3.400	0.523
3.800	0.949
11.100	0.641
7.200	-0.840
9.400	5.804
15.500	-2.717
8.500	1.173
5.500	0.732
3.900	-0.529

20.54 kV' ta ölçülen maksimum KB genliği negatif periyottaki 24.988 pC' dur.

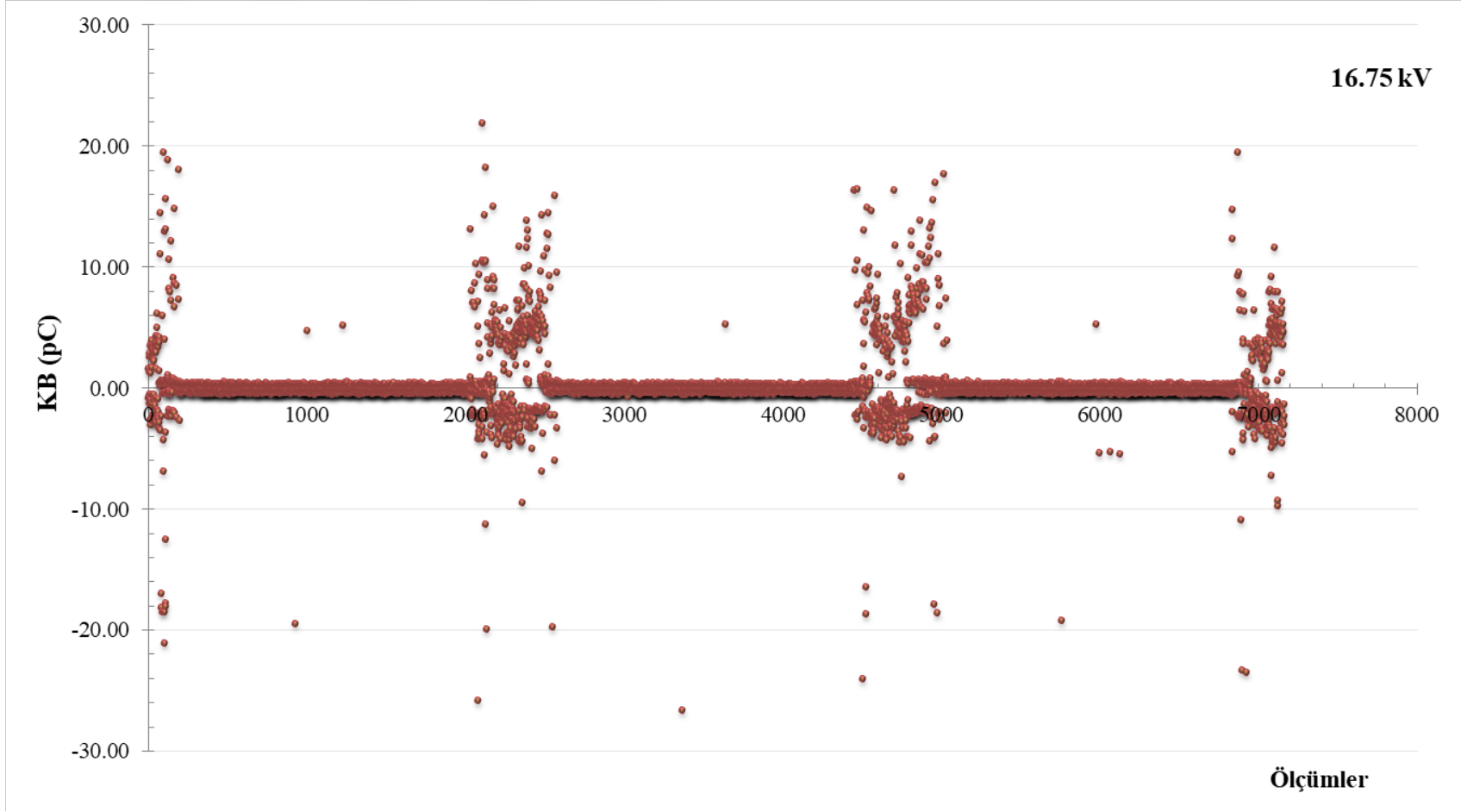
Çizelge 4.12, Çizelge 4.13, Çizelge 4.14, Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16' da verilmiş olan ölçümlerin tüm deney süresince elde edilmiş olan değerlerinin dağılım grafikleri, Şekil 4.20, Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23 ve Şekil 4.24' te verilmiştir.



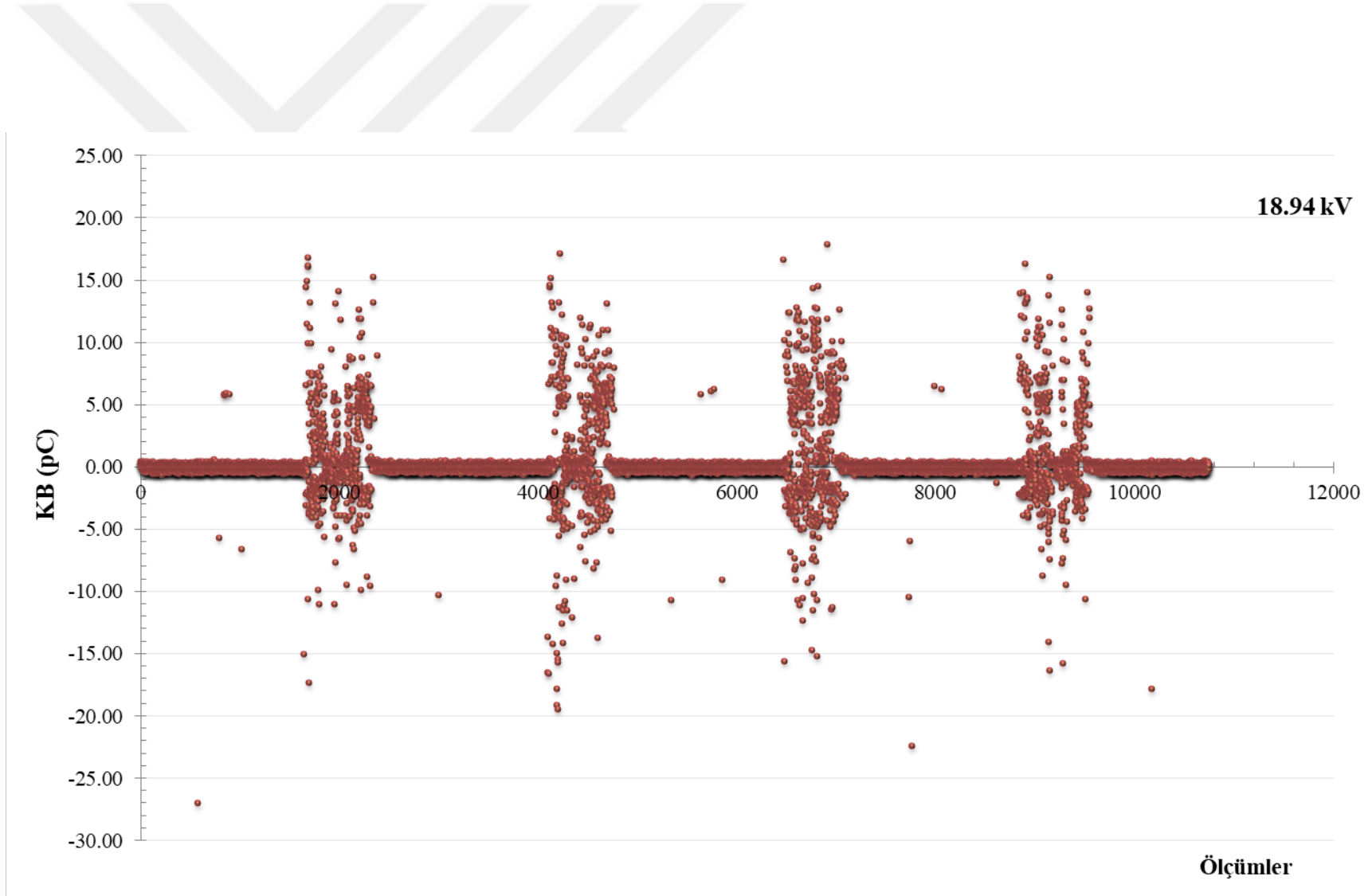
Şekil 4.20 : 3 bar 13.54 kV' ta kaydedilen 11 950 adet ölçümde KB' lerin dağılım grafiği.



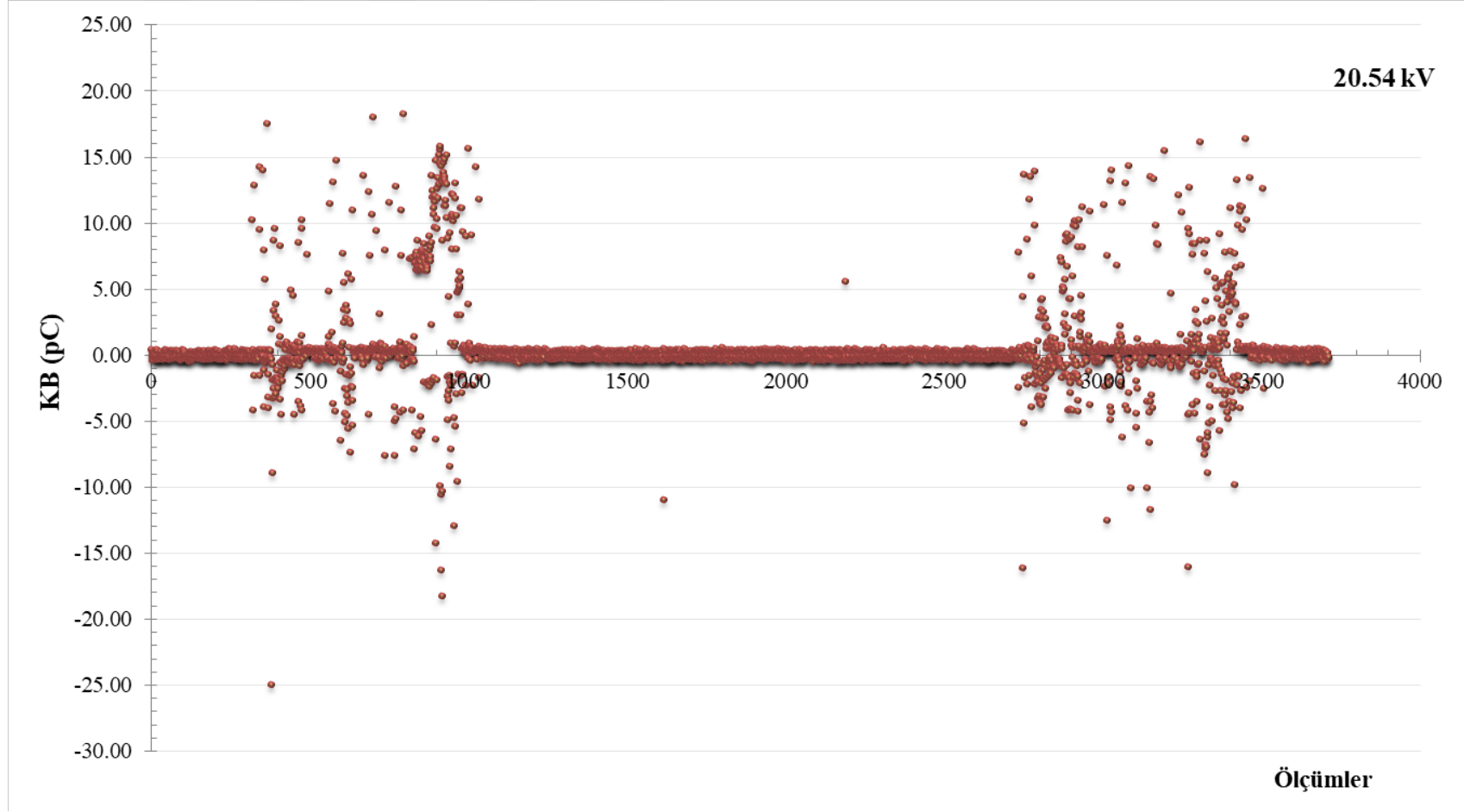
Şekil 4.21 : 3 bar 15.5 kV' ta kaydedilen 5 298 adet ölçümde KB' lerin dağılım grafiği.



Şekil 4.22 : 3 bar 16.75 kV' ta kaydedilen 7 162 adet ölçümde KB' lerin dağılım grafiği.



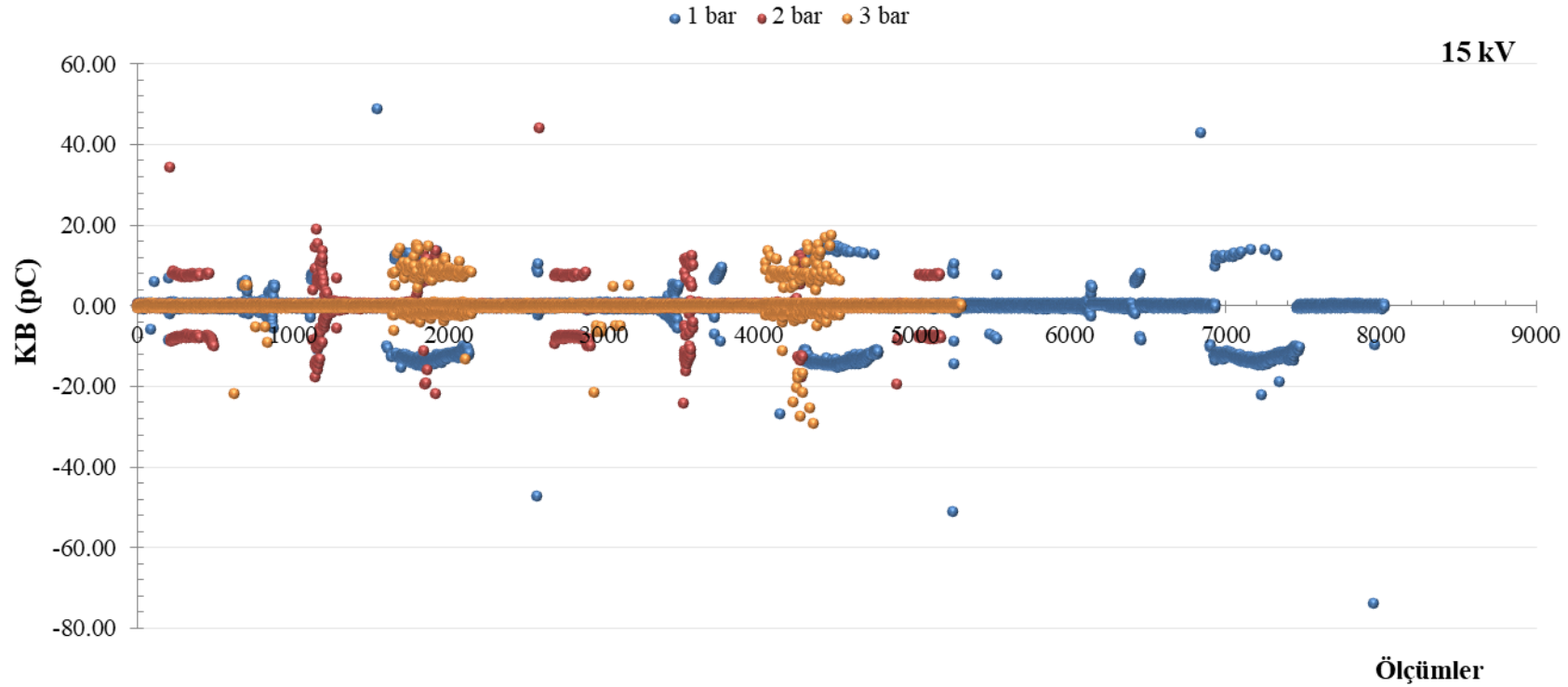
Şekil 4.23 : 3 bar 18.94 kV' ta kaydedilen 10 752 adet ölçümde KB' lerin dağılım grafiği.



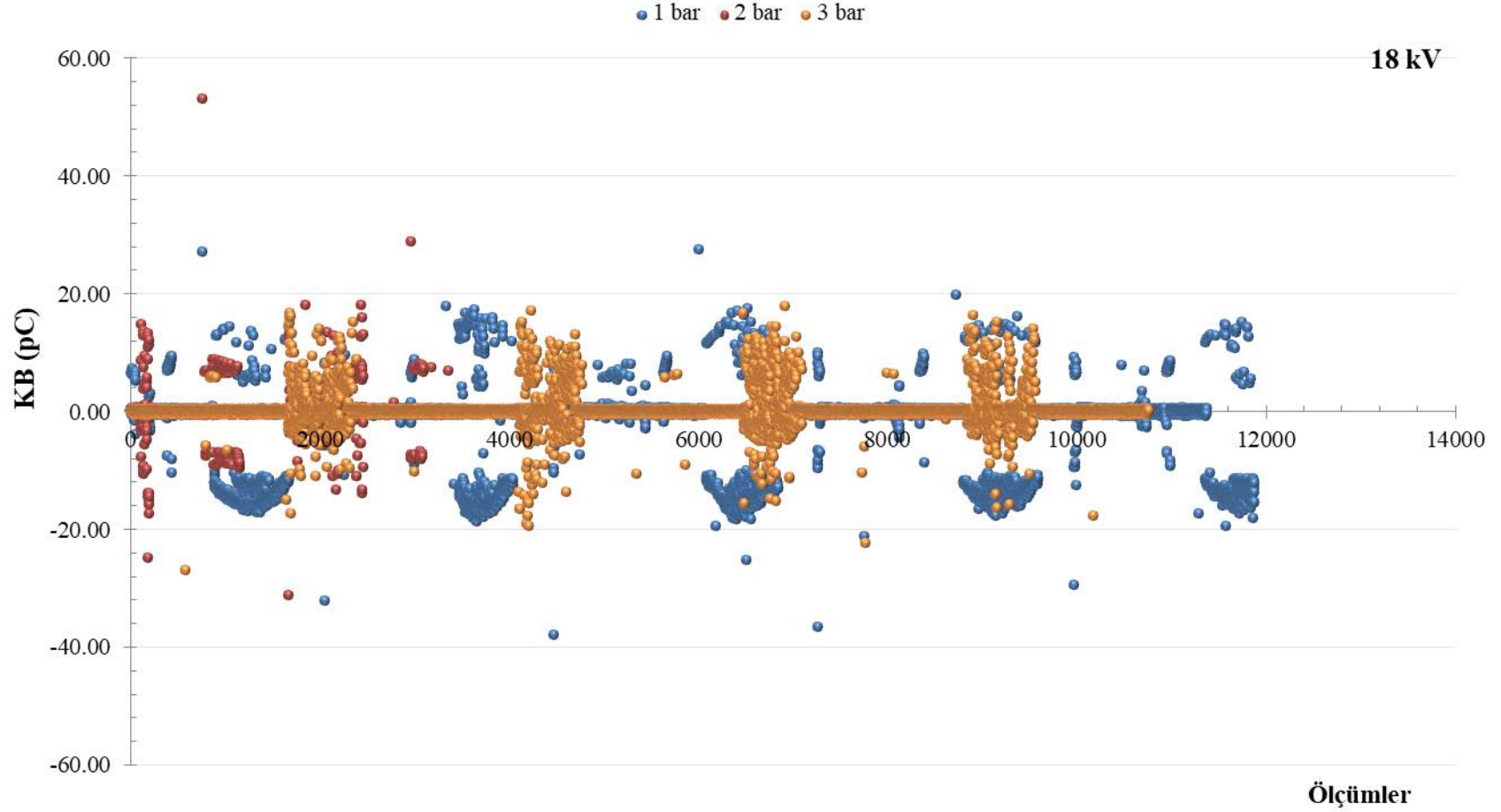
Şekil 4.24 : 3 bar 20.54 kV' ta kaydedilen 3 711 adet ölçümde KB' lerin dağılım grafiği.

#### 4.2.4 Farklı basınçlarda aynı gerilim seviyeleri için kaydedilen ölçümler

1 bar, 2 bar ve 3 bar basınç değerlerinde kaydedilen deney sonuçlarının ortak gerilim seviyeleri için (15 kV ve 18 kV) dağılım grafikleri Şekil 4.25 ve Şekil 4.26' da gösterilmiştir.



Şekil 4.25 : 1 bar, 2 bar ve 3 bar basınçlarda 15 kV gerilimde kaydedilen KB' lerin dağılım grafiği.



Şekil 4.26 : 1 bar, 2 bar ve 3 bar basınçlarda 18 kV gerilimde kaydedilen KB' lerin dağılım grafiği.

## 5. VERİLERİN İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRİLMESİ

Aynı gerilim seviyesinde fakat farklı basınç değerlerinde meydana gelen KB olaylarının mukayesesi için 1 bar, 2 bar ve 3 bar basınç altındaki %99 N<sub>2</sub> ve %1 SF<sub>6</sub> gazının yalıtıcı gaz olarak kullanıldığı deney düzeneğinde kaydedilen ölçümler belirlenen gerilim seviyelerinde ayrı ayrı incelenmiştir.

Gerilim seviyeleri olarak KB olaylarının görüldüğü 12 kV, 15 kV, 18 kV ve 20 kV seçilmiştir. 12 kV' taki incelemeler için 1 bar ve 2 bar ölçümleri, 15 kV ve 18 kV' taki incelemeler için her üç barda yapılan ölçümler, 20 kV' taki incelemeler içinse 2 bar ve 3 bar ölçümleri kullanılmıştır.

### 5.1 Histogramlar ve Analizleri

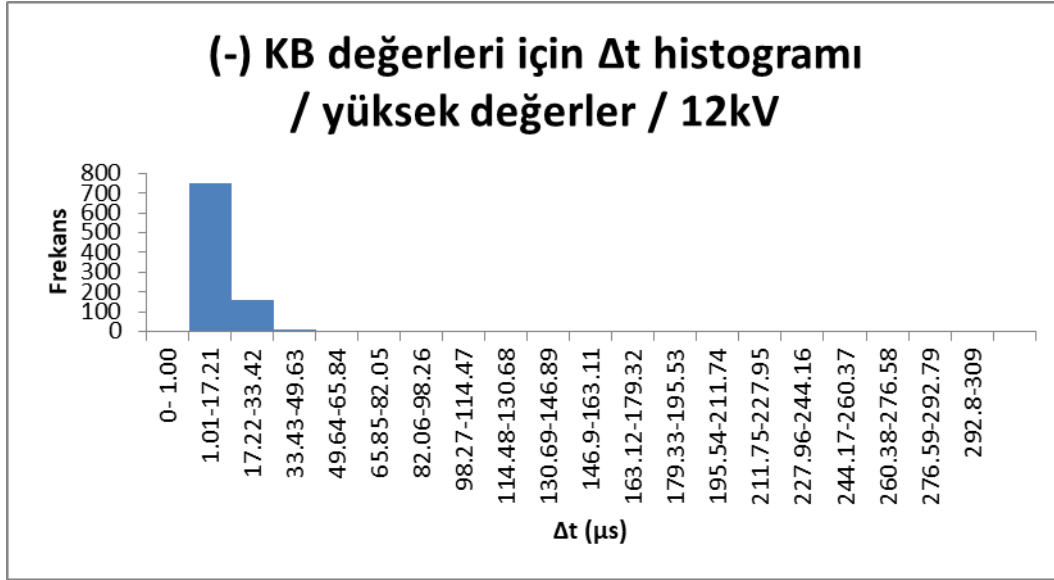
KB sinyallerinin ortaya çıkış (delta t aralıklarının) zamanlarının incelenebilmesi için, deneyin yapıldığı laboratuvar ortamındaki gürültülerden kaynaklı çok düşük genlikli sinyaller yüksek genlikli KB sinyallerinden ayrılmak istenmiştir. Deneyde kaydedilen sonuçlar incelendiğinde, pozitif ve negatif periyotlardaki KB başlangıç değerlerinin 2 pC' tan yüksek genlikli olduğu görülmüştür. Bu nedenle eşik seviyesi olarak pozitif genlikli KB sinyalleri için 2 pC, negatif genlikli KB sinyalleri içinse -2 pC seçilmiştir.

2 pC' tan yüksek değerdeki pozitif genlikli KB sinyallerinin gerçekleşme zaman aralıkları "(+) KB değerleri için  $\Delta t$  histogramı / yüksek değerler", 2 pC' tan yüksek değerdeki negatif genlikli KB sinyalleri içinse "(-) KB değerleri için  $\Delta t$  histogramı / yüksek değerler" grafiklerinde gösterilmiştir. Eşik değerinin üzerinde kabul edilen ölçümlerin incelendiği bu histogramlar, çalışmanın konusu olan KB analizleri olarak kabul edilebilir.

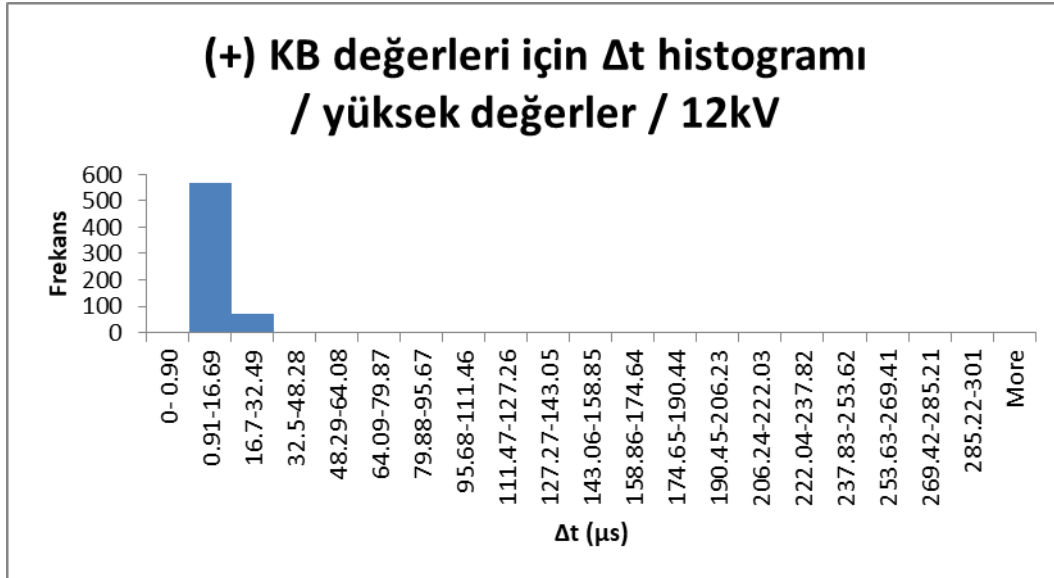
Pozitif genlikli KB sinyalleri 2 pC' tan düşük genliğe sahipse "(+) KB değerleri için  $\Delta t$  histogramı / ara değerler", negatif genlikli KB sinyalleri 2 pC' tan düşük genliğe sahipse "(-) KB değerleri için  $\Delta t$  histogramı / ara değerler" olarak delta t histogramlarına işlenmiştir. Eşik değerinin altında kabul edilen ölçümlerin

incelendiği bu histogramlar ise, ortamdaki (baz) gürültü seviyesinin gerilimlere bağlı olarak ortaya çıkış analizi olarak kabul edilebilir.

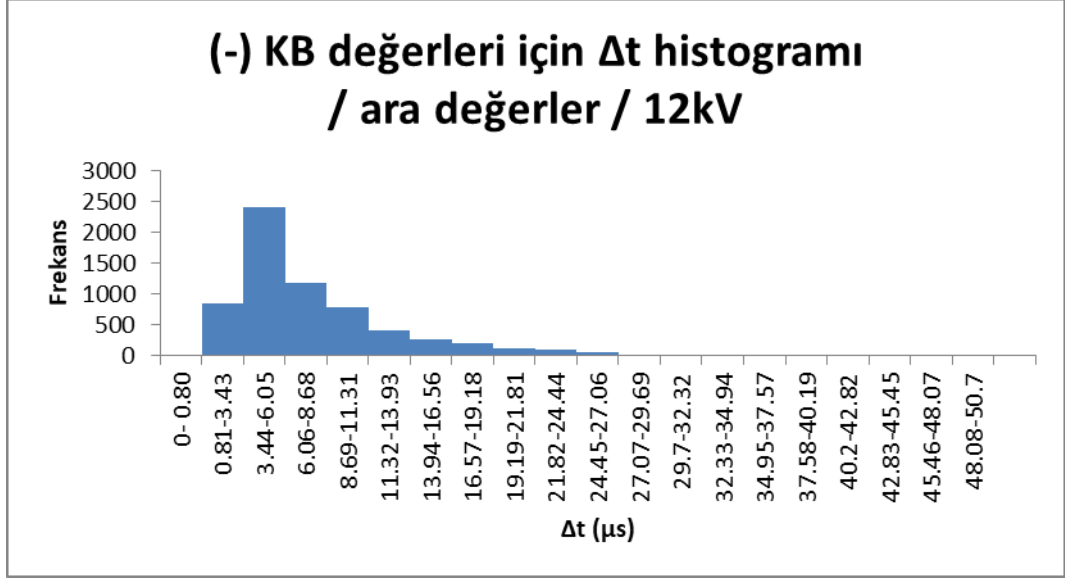
1 bar ve 2 bar basınçta 12 kV gerilimde kaydedilen ve eşik değerlerine göre ayrılmış KB sinyallerinin ortaya çıkış zaman aralıklarının histogramları Şekil 5.1, Şekil 5.2, Şekil 5.3, Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8' de gösterilmiştir.



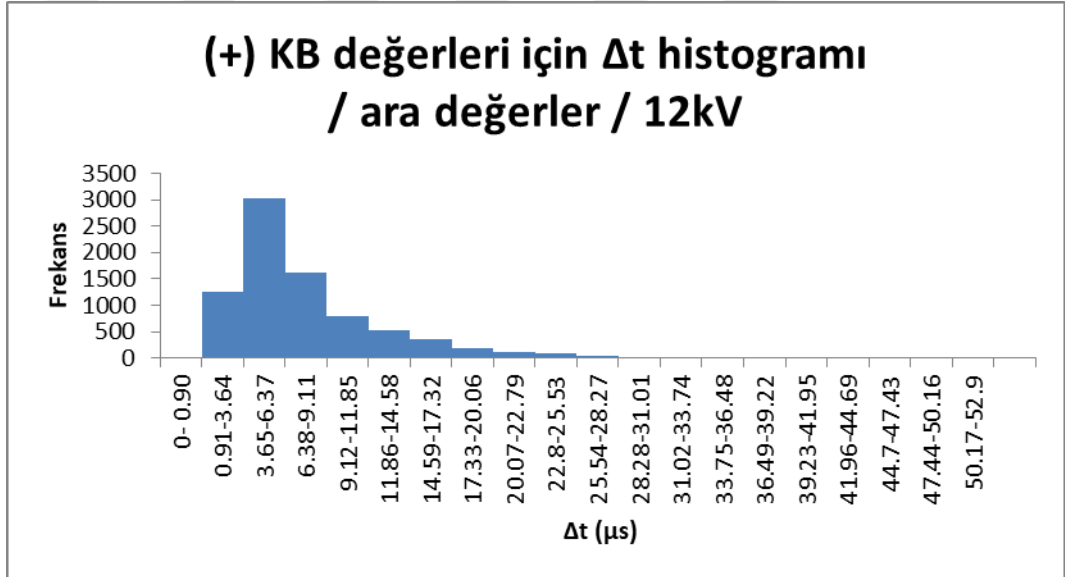
Şekil 5.1 : 1 bar 12 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.



Şekil 5.2 : 1 bar 12 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.

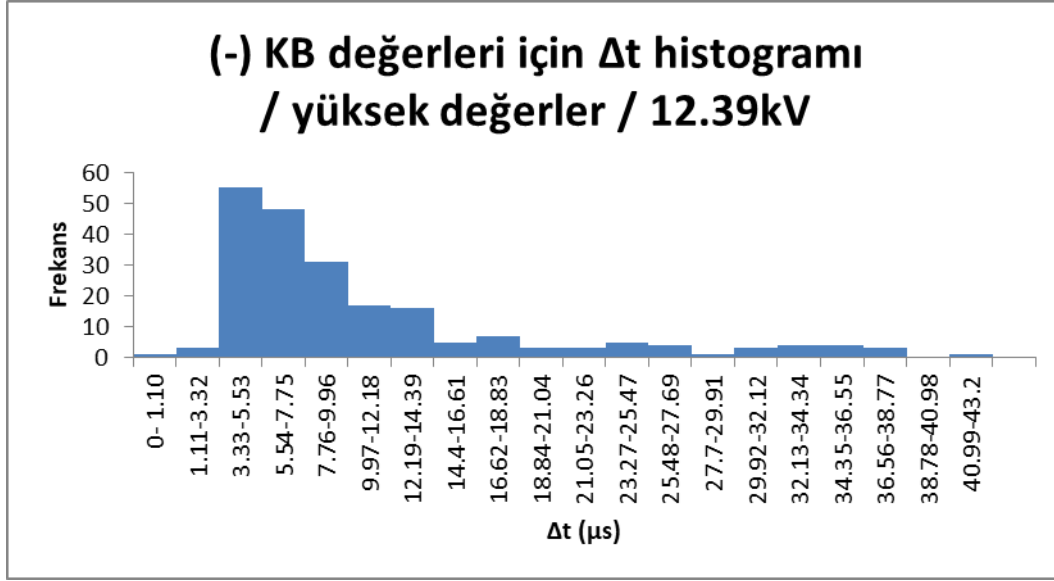


**Şekil 5.3 :** 1 bar 12 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.

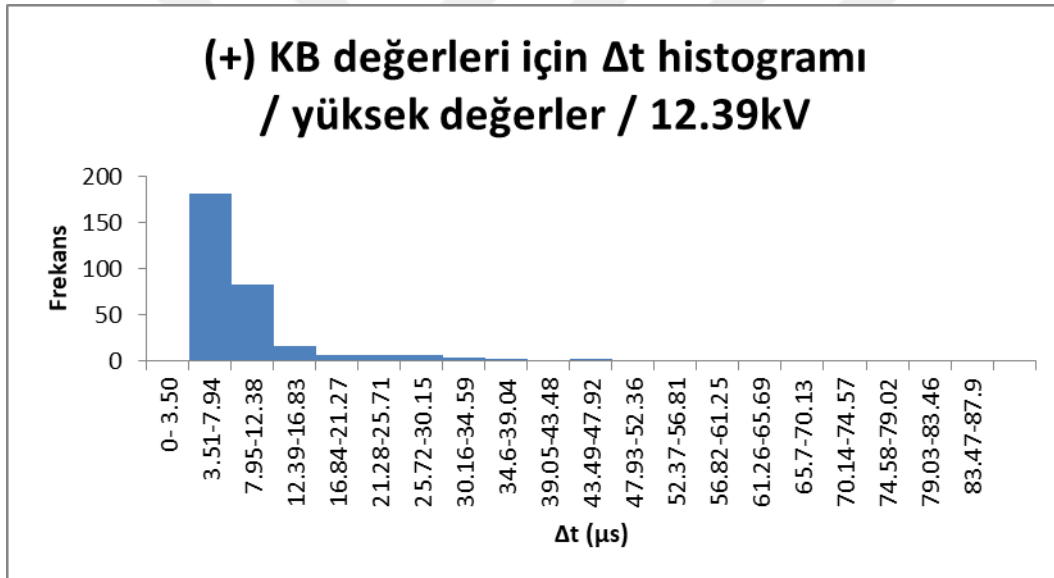


**Şekil 5.4 :** 1 bar 12 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.

1 bar 12 kV delta t histogramlarından görüldüğü gibi, eşik değerinin üzerinde kaydedilmiş olan KB sinyallerinin çıkış aralıkları, pozitif ve negatif genlikler için 17  $\mu s$  ve 33  $\mu s$  dolaylarında yoğunlaşmış durumdadır. Eşik değerinin altında kaydedilmiş olan KB sinyallerinin çıkış aralıkları ise, pozitif ve negatif genlikler için daha heterojen (dağınık) bir dağılıma sahiptir. Bu dağılım, 6  $\mu s$ ' ye kadar artış gösteren ve sonrasında sıfıra çok yakın değerlere kadar azalarak devam eden bir dağılımdır.

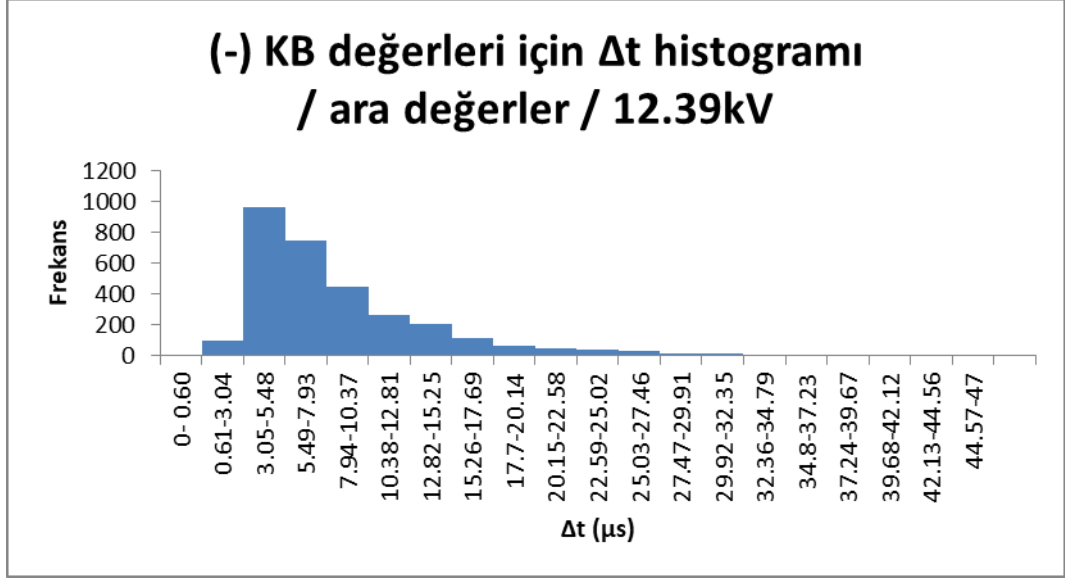


**Şekil 5.5 :** 2 bar 12 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.

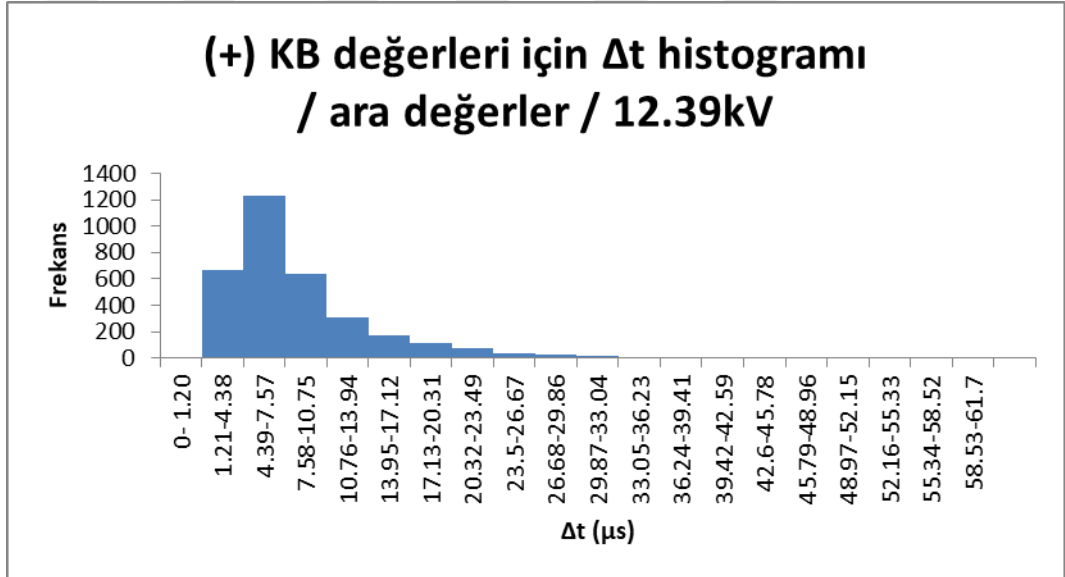


**Şekil 5.6 :** 2 bar 12 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.

2 bar 12 kV delta t histogramlarından görüldüğü gibi, eşik değerinin üzerinde kaydedilmiş olan KB sinyallerinin çıkış aralıkları, pozitif genlikler için zaman zaman artıp zaman zaman azalış gösteren dağınık bir dağılıma sahiptir. Negatif genlikler için 1 bardakine benzer şekilde, belirli değerlere kadar artan ve yoğun bir dağılım gösteren, sonrasında sifıra yakın değerlere kadar azalarak ilerleyen bir dağılıma sahiptir.



**Şekil 5.7 :** 2 bar 12 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.



**Şekil 5.8 :** 2 bar 12 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.

Eşik değerinin altında kaydedilmiş olan KB sinyallerinin çıkış aralıkları ise, 1 bardaki dağılımlara benzer şekilde, pozitif ve negatif genlikler için heterojen (dağınık) bir dağılıma sahiptir. Bu dağılım, 6  $\mu s$  ve 7.5  $\mu s$ ' ye kadar artış gösteren ve sonrasında sıfıra çok yakın değerlere kadar azalarak devam eden bir dağılımdır.

15 kV, 18 kV ve 20 kV gerilim seviyeleri için oluşturulmuş delta t histogramları Ek A'da yer almaktadır.

## 5.2 İstatistiksel Grafikler ve Analizleri

İstatistiksel grafikler oluşturulurken 1 bar, 2 bar ve 3 bar basınçlarda verilerin kaydedildiği gerilim seviyeleri dahilindeki tüm ölçümler için istatistiksel değerler hesaplanmıştır.

İstatistiksel değerler, hem KB sinyallerinin gerçekleşme zamanları (delta t aralıkları) ve hem de KB sinyallerinin genlikleri için ayrı ayrı hesaplanarak grafiklere işlenmiştir.

1 bar basınç için, 12 kV, 15.6 kV ve 18.3 kV; 2 bar basınç için 12.39 kV, 15.38 kV, 18.47 kV ve 20.24 kV; 3 bar basınç için 15.5 kV, 18.94 kV ve 20.54 kV gerilim seviyeleri istatistiksel grafiklerin yatay ekseninde yer almaktadır.

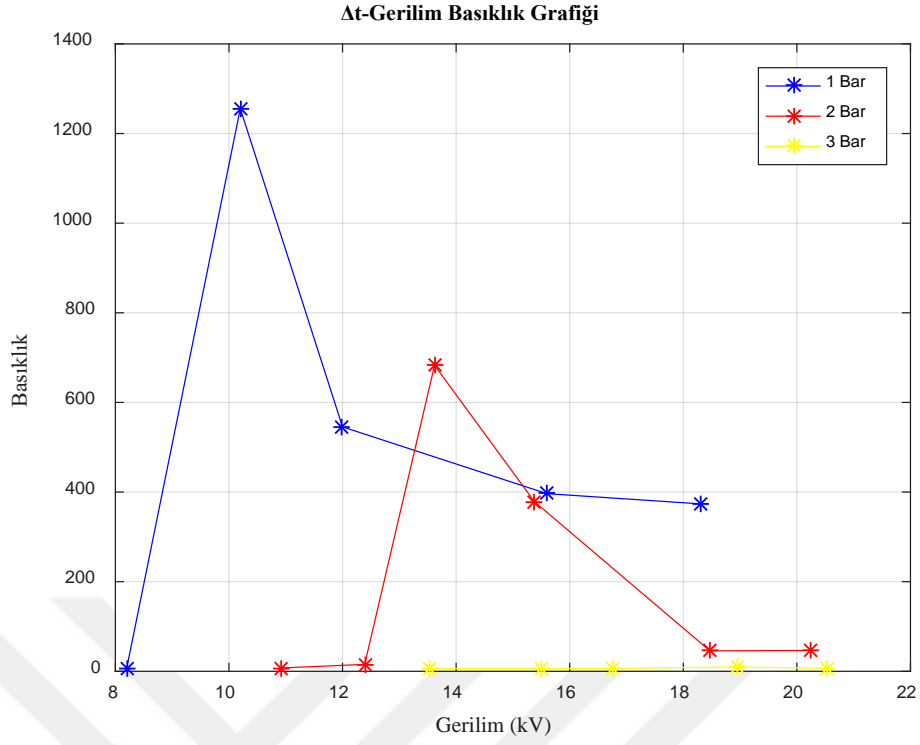
### 5.2.1 Gerilim- basıklık grafiği

Şekil 5.9' da, KB sinyallerinin ortaya çıkış zamanları için gerilim seviyeleri artırıldıkça değişim gösteren basıklık değerleri verilmiştir. Burada, deney sürelerinin tamamında ölçülen veriler kullanılmıştır.

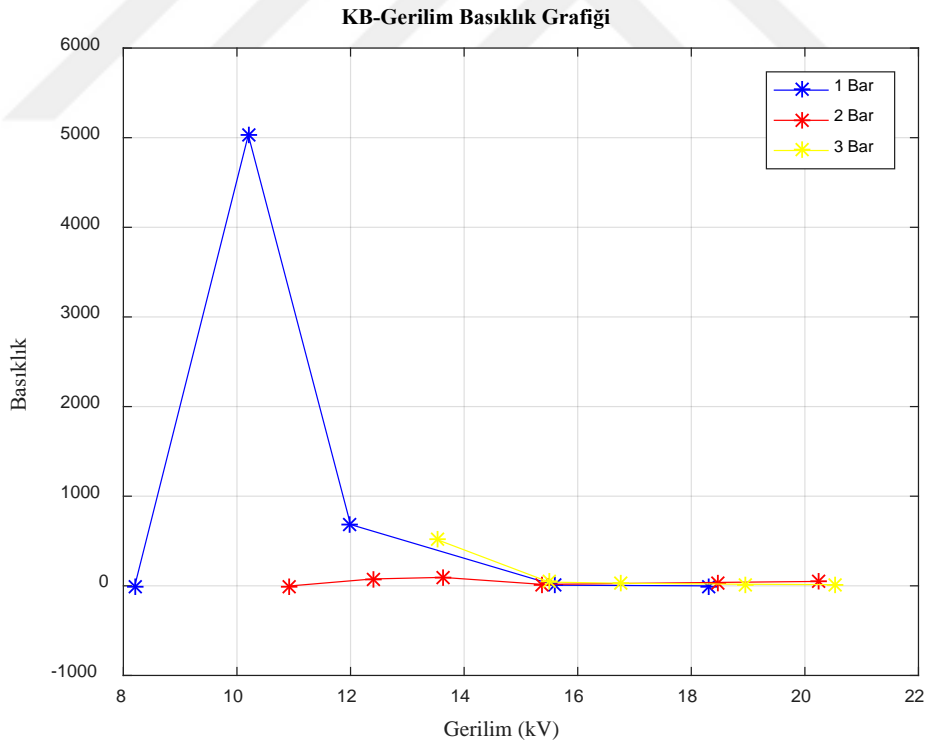
Şekil 5.10' da, KB sinyallerinin genlikleri için gerilim seviyeleri artırıldıkça değişim gösteren basıklık değerleri verilmiştir. Burada da deney sürelerinin tamamında ölçülen veriler kullanılmıştır.

Şekil 5.11' de de, KB sinyallerinin ortaya çıkış zamanları için gerilim seviyeleri artırıldıkça değişim gösteren basıklık değerleri verilmiştir. Fakat burada, deney sürelerinin tamamında ölçülen veriler değil, bölüm 5.1' deki gibi eşik değerinin üzerinde kalacak şekilde ayrılmış olan veriler kullanılmıştır.

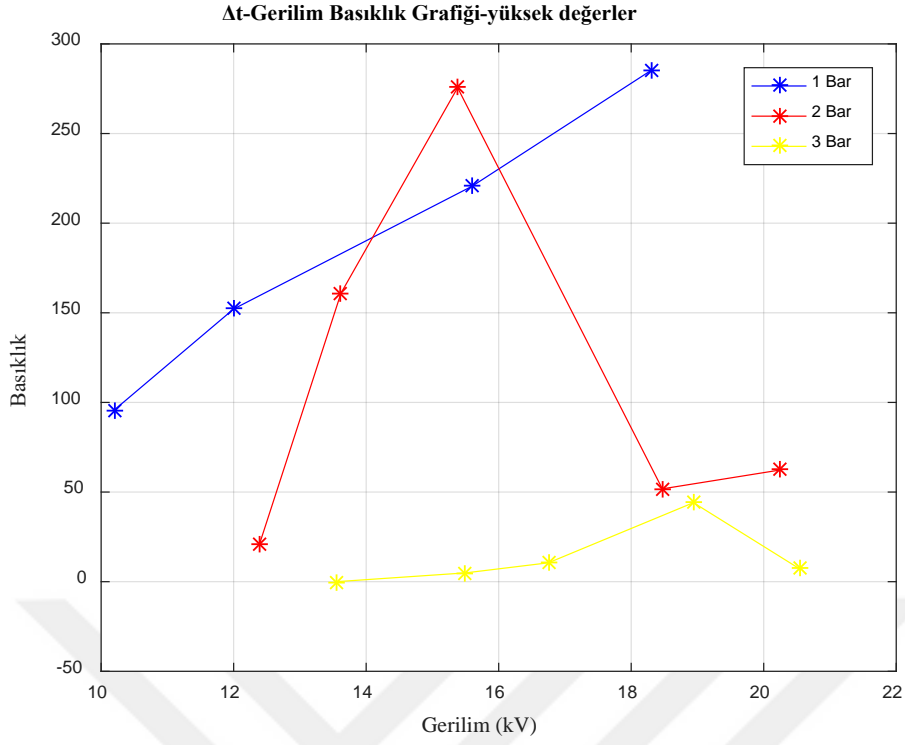
Şekil 5.12' de, KB sinyallerinin genlikleri için gerilim seviyeleri artırıldıkça değişim gösteren basıklık değerleri verilmiştir. Burada da deney sürelerinin tamamında ölçülen veriler değil, bölüm 5.1' deki gibi eşik değerinin üzerinde kalacak şekilde ayrılmış olan veriler kullanılmıştır.



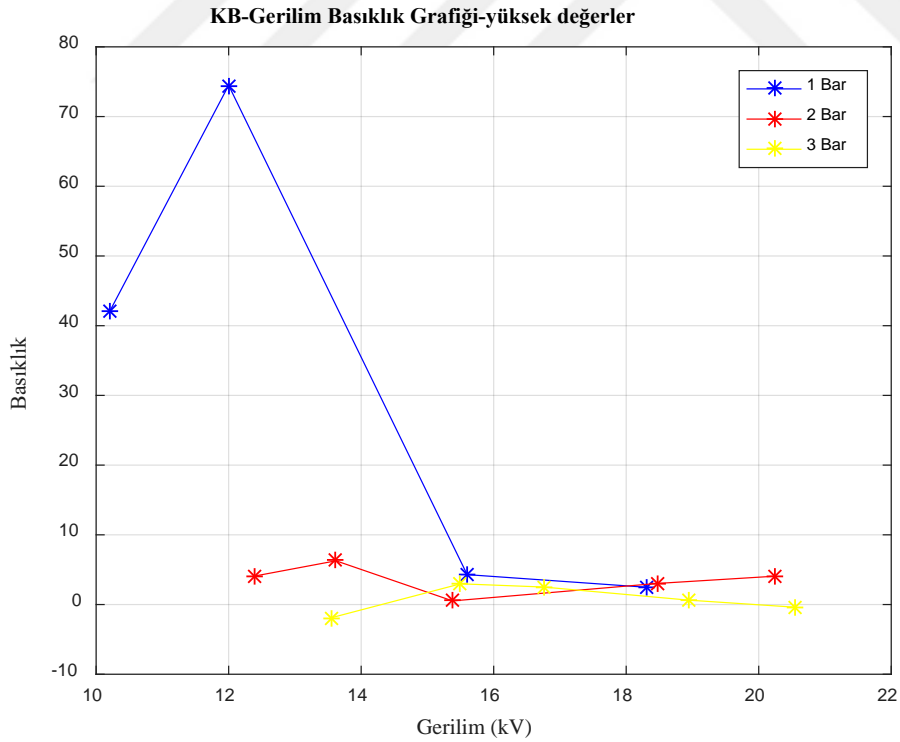
**Şekil 5.9 :** Delta t zaman aralđının gerilime bağlı basıklık değişimi.



**Şekil 5.10 :** Kısmi boşalmanın gerilime bağlı basıklık değişimi.



**Şekil 5.11 :** Yüksek değerler için delta t zaman aralığının gerilime bağlı basıkkk değişimi.



**Şekil 5.12 :** Yüksek değerler için kısmi boşalmanın gerilime bağlı basıkkk değişimi.

Şekil 5.9 ve Şekil 5.10' da görüldüğü gibi hem KB sinyallerinin hem de bu sinyallerin ortaya çıkış zamanlarının dağılımı, önce dik bir açıyla yükselip daha sonra azalan bir seyir izlemektedir. Ayrıca basınç arttıkça basıklık değerlerinde düşüşler olmaktadır. Bunun sebebi, KB' lerin düşük basınçta daha kolay oluşması, basınç artışıyla birlikte KB' lerin baskılanması ve daha zor ortaya çıkmalarıdır.

Şekil 5.11 ve Şekil 5.12' de, 2 pC eşik değeri kabul edilerek eşik değerinin üzerindeki pozitif ( $> 2$  pC) ve negatif ( $< 2$  pC) sinyaller için basıklık değerlerinin dağılımı gösterilmiştir. Bu dağılımlarda görülen basıklık değerlerinin Şekil 5.9 ve Şekil 5.10' daki basıklık değerlerinin çok daha altında olduğu ve yine basınç arttıkça basıklık değerlerinin düştüğü söylenebilir. Tüm ölçümlerdeki basıklığa göre yüksek değer grafiklerindeki basıklıkların düşük olmasının sebebi, KB sinyallerinin yüksek değerlerinin kendi arasındaki farkın, yüksek ve düşük değerler arasındaki farktan daha düşük olmasıdır.

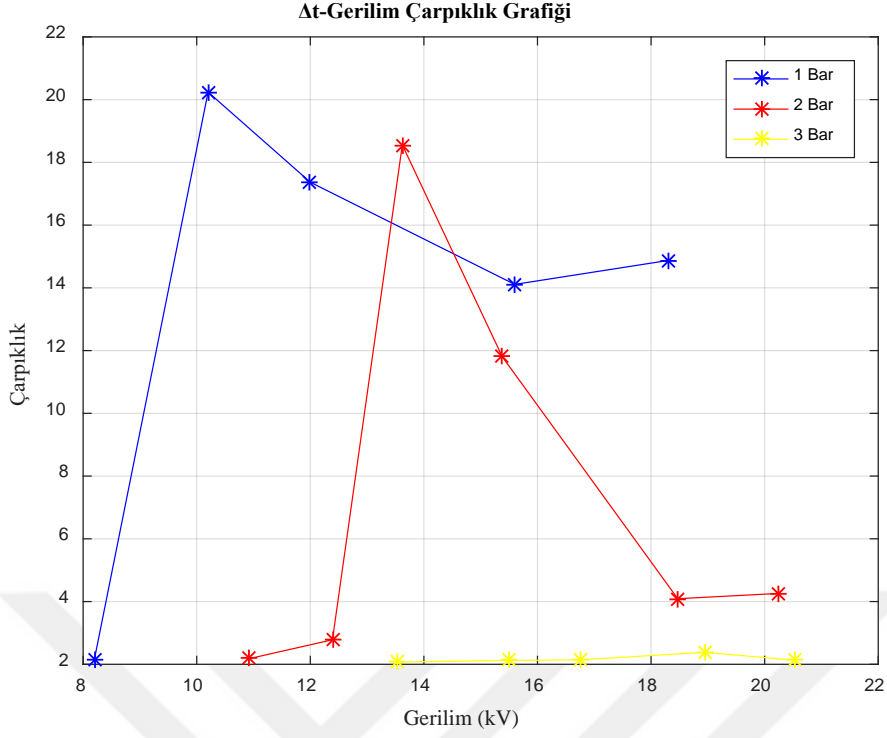
### **5.2.2 Gerilim- çarpıklık grafiği**

Şekil 5.13' de, KB sinyallerinin ortaya çıkış zamanları için gerilim seviyeleri artırıldıkça değişim gösteren çarpıklık değerleri verilmiştir. Burada, deney sürelerinin tamamında ölçülen veriler kullanılmıştır.

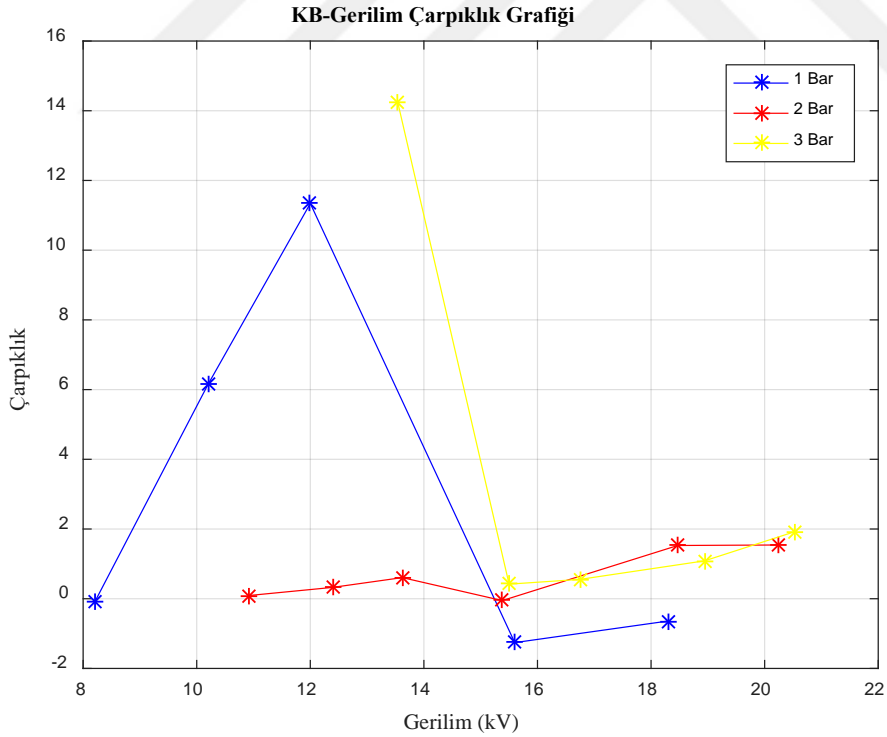
Şekil 5.14' te, KB sinyallerinin genlikleri için gerilim seviyeleri artırıldıkça değişim gösteren çarpıklık değerleri verilmiştir. Burada da deney sürelerinin tamamında ölçülen veriler kullanılmıştır.

Şekil 5.15' te de, KB sinyallerinin ortaya çıkış zamanları için gerilim seviyeleri artırıldıkça değişim gösteren çarpıklık değerleri verilmiştir. Fakat burada, deney sürelerinin tamamında ölçülen veriler değil, bölüm 5.1' deki gibi eşik değerinin üzerinde kalacak şekilde ayrılmış olan veriler kullanılmıştır.

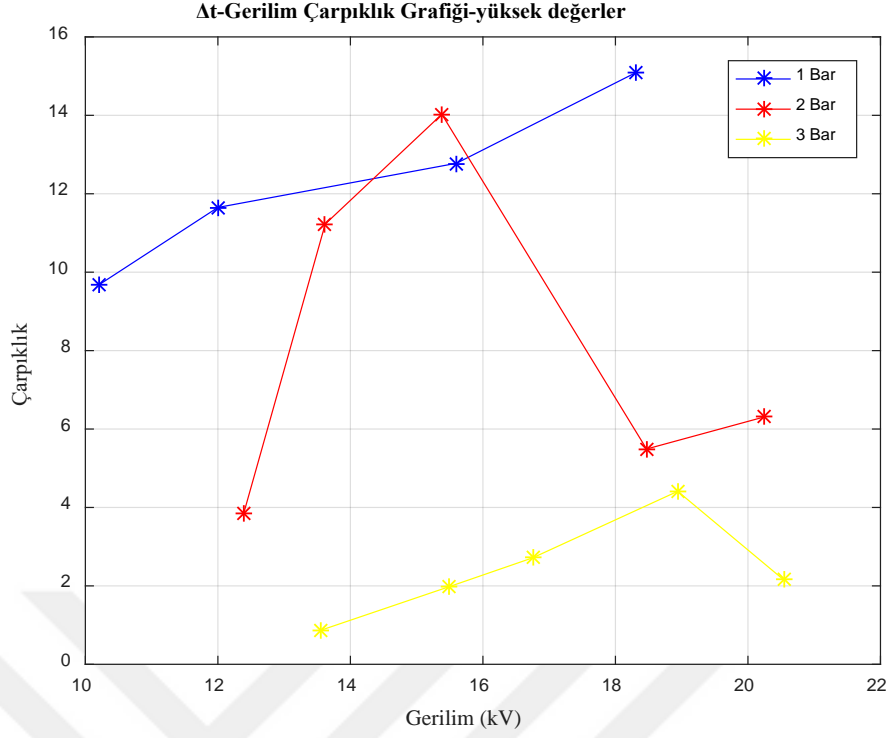
Şekil 5.16' da, KB sinyallerinin genlikleri için gerilim seviyeleri artırıldıkça değişim gösteren çarpıklık değerleri verilmiştir. Burada da deney sürelerinin tamamında ölçülen veriler değil, bölüm 5.1' deki gibi eşik değerinin üzerinde kalacak şekilde ayrılmış olan veriler kullanılmıştır.



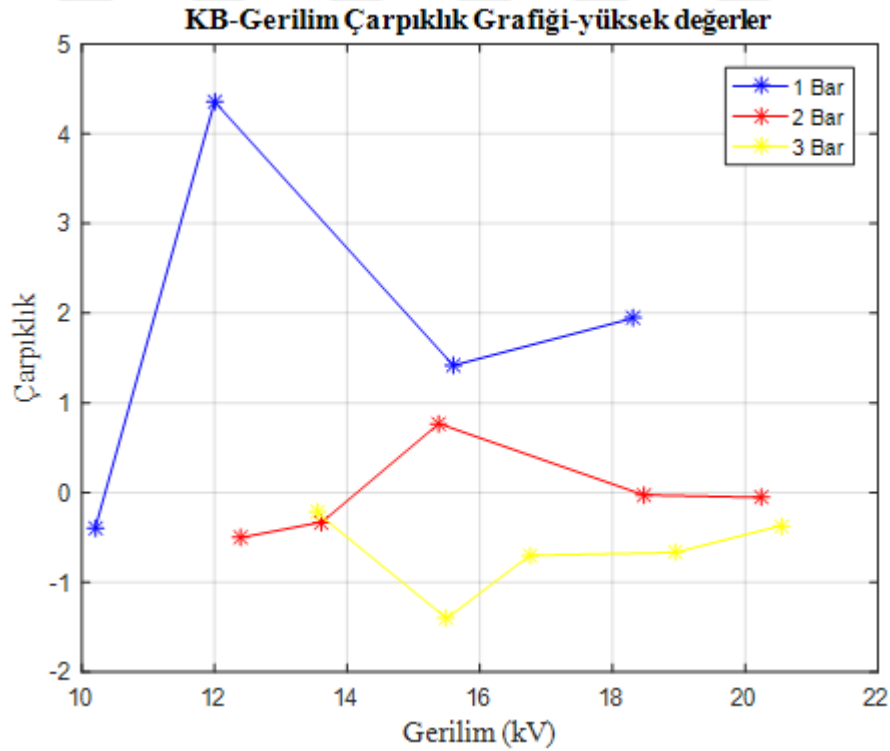
**Şekil 5.13 :** Delta t zaman aralığının gerilime bağlı çarpıklık değişimi.



**Şekil 5.14 :** Kısmi boşalmanın gerilime bağlı çarpıklık değişimi.



**Şekil 5.15 :** Yüksek değerler için delta t zaman aralığının gerilime bağlı çarpıklık değişimi.



**Şekil 5.16 :** Yüksek değerler için kısmi boşalmanın gerilime bağlı çarpıklık değişimi.

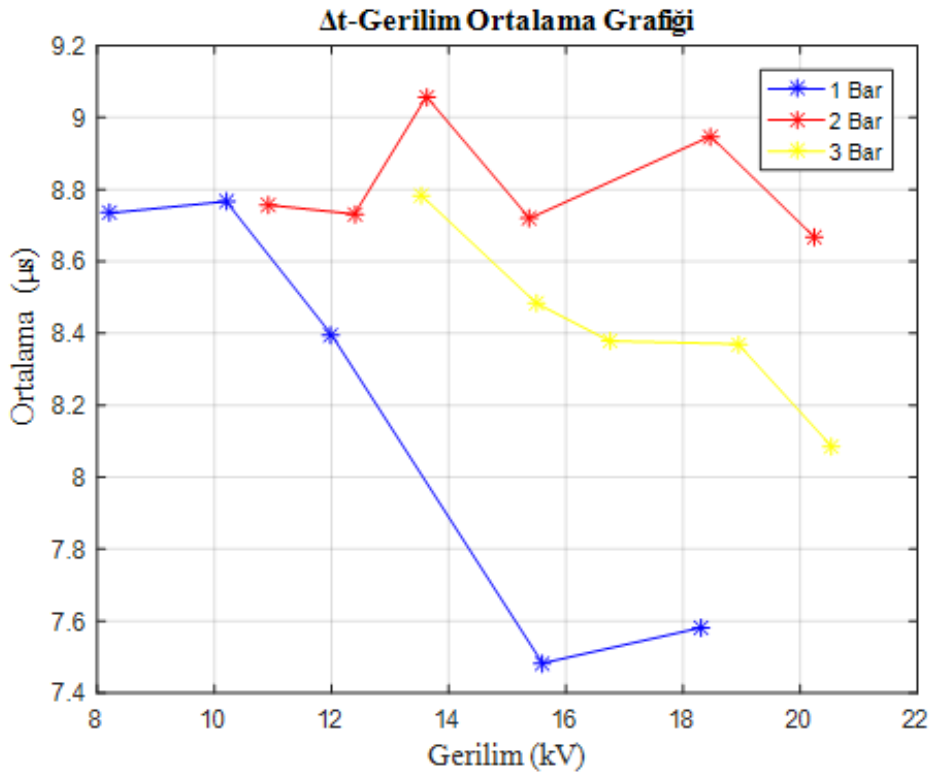
### 5.2.3 Gerilim- ortalama grafiği

Şekil 5.17' de, KB sinyallerinin ortaya çıkış zamanları için gerilim seviyeleri artırıldığıa değişim gösteren ortalama değerleri verilmiştir. Burada, deney sürelerinin tamamında ölçülen veriler kullanılmıştır.

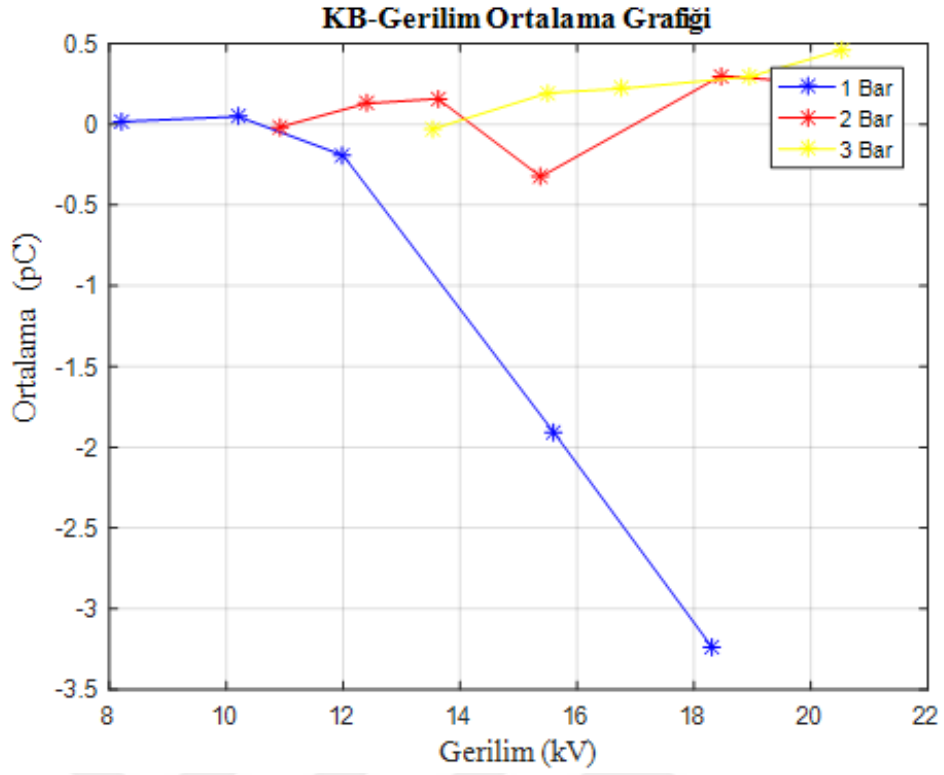
Şekil 5.18' de, KB sinyallerinin genlikleri için gerilim seviyeleri artırıldığıa değişim gösteren ortalama değerleri verilmiştir. Burada da deney sürelerinin tamamında ölçülen veriler kullanılmıştır.

Şekil 5.19' da de, KB sinyallerinin ortaya çıkış zamanları için gerilim seviyeleri artırıldığıa değişim gösteren ortalama değerleri verilmiştir. Fakat burada, deney sürelerinin tamamında ölçülen veriler değil, bölüm 5.1' deki gibi eşik değerinin üzerinde kalacak sekilde ayrılmış olan veriler kullanılmıştır.

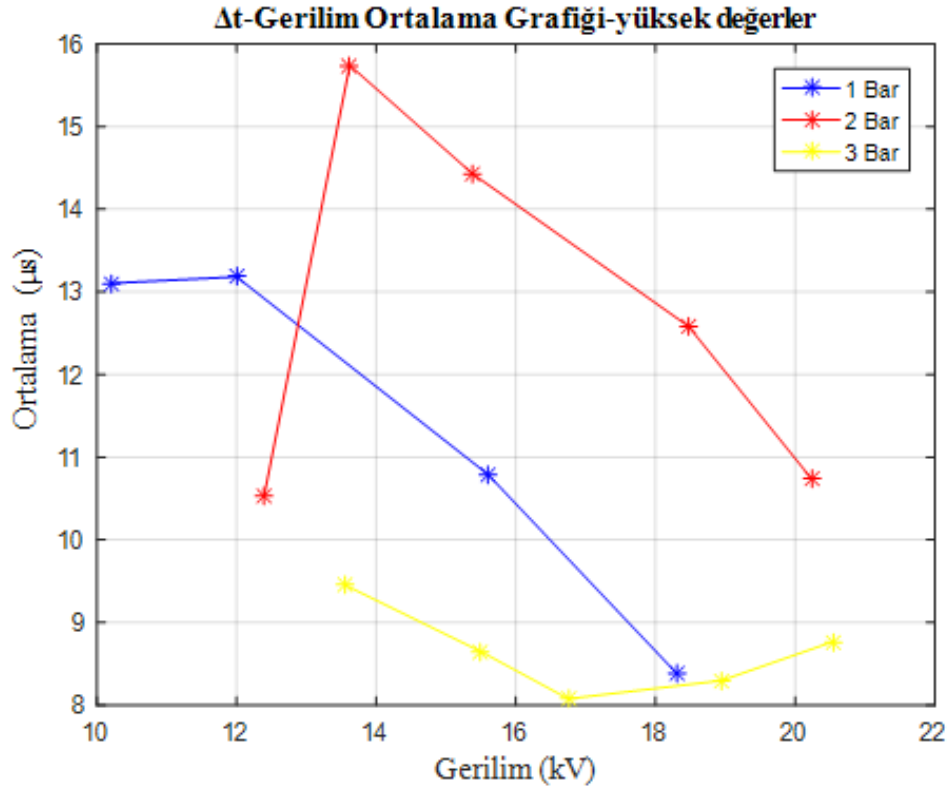
Şekil 5.20' de, KB sinyallerinin genlikleri için gerilim seviyeleri artırıldığıa değişim gösteren ortalama değerleri verilmiştir. Burada da deney sürelerinin tamamında ölçülen veriler değil, bölüm 5.1' deki gibi eşik değerinin üzerinde kalacak sekilde ayrılmış olan veriler kullanılmıştır.



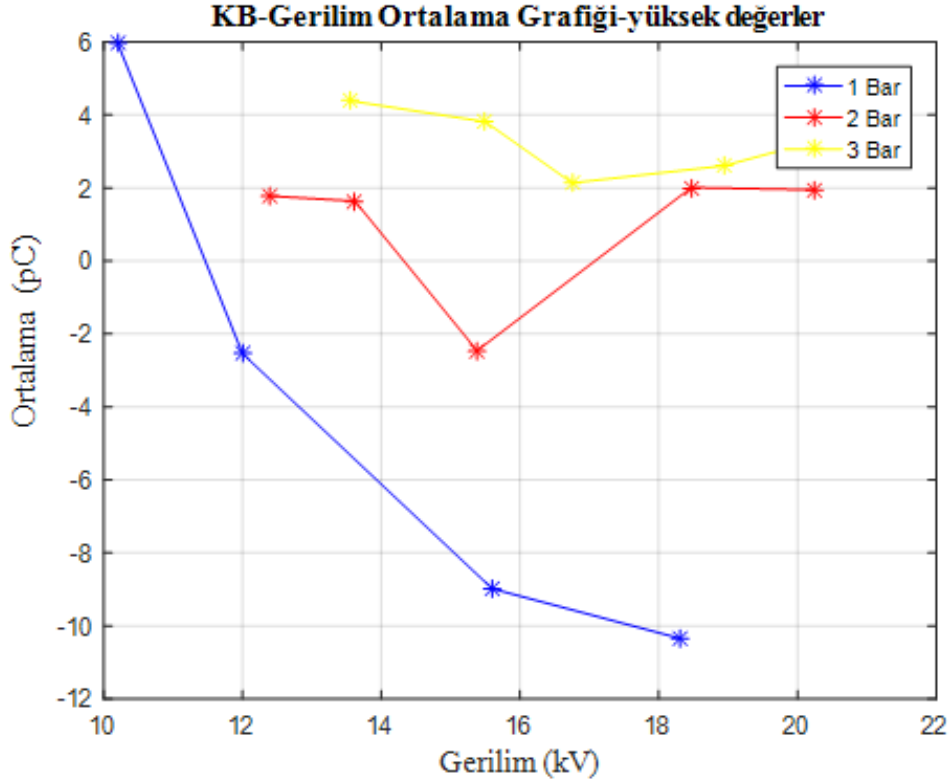
**Şekil 5.17 :** Delta t zaman aralığının gerilime bağlı ortalama değer değişimi.



Şekil 5.18 : Kısmi boşalmanın gerilime bağlı ortalama değer değişimi.



Şekil 5.19 : Yüksek değerler için delta t zaman aralığının gerilime bağlı ortalama değer değişimi.



**Şekil 5.20 :** Yüksek değerler için kısmi boşalmanın gerilime bağlı ortalama değer değişimi.

Şekil 5.18 ve Şekil 5.20’ deki KB sinyallerinin ortalama değer dağılımlarına bakıldığında, basınç arttıkça ortalama değerlerin de artmış olduğu görülür. Ayrıca, aynı basınç değerinde gerilimin artması da KB sinyallerinin ortalamasını bir süre için artırmış da olsa daha sonra bu değerlerin düşüşe geçtiği rahatlıkla söylenebilir. 1 barda ise gerilim artışıyla birlikte ortalama değerler negatif yönde artmaktadır. Dolayısıyla, gerilim ve basıncın KB genlikleriyle doğrusal bir ilişkisi olduğu söylenebilir.

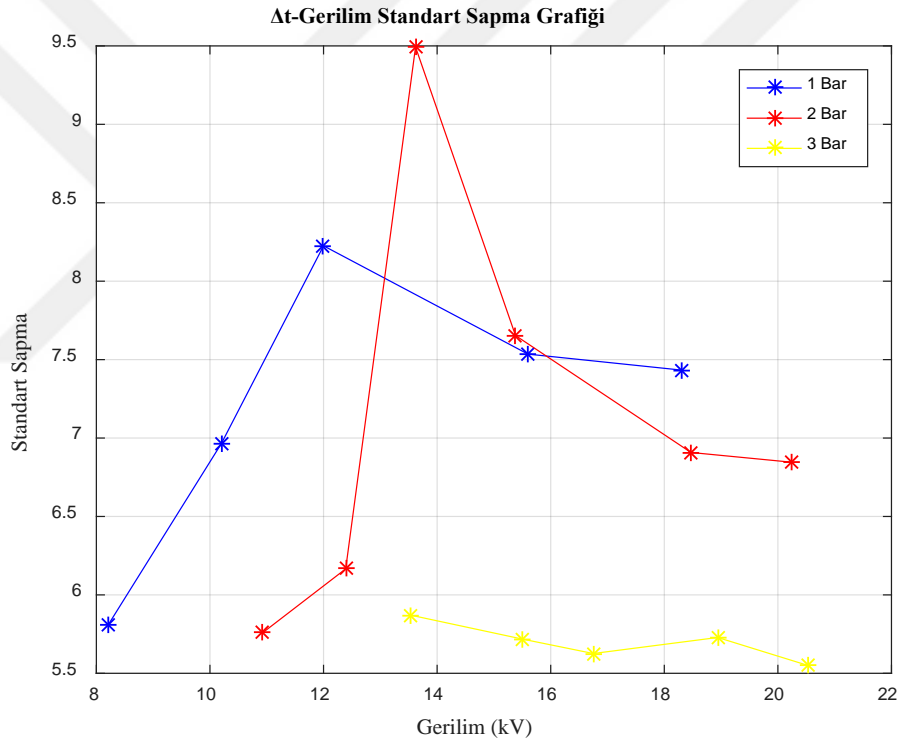
Şekil 5.17 ve Şekil 5.19’ da, KB sinyallerinin ortaya çıkış zamanlarının ortalama değerlerinin dağılımı gösterilmiştir. Bu dağılımlara göre, 2 barda KB sinyallerinin meydana gelme zamanlarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi SF<sub>6</sub> gazının basınca bağlı yalıtkanlık özelliğidir. SF<sub>6</sub> gazı, karışımında %100 oranında bulunduğu 1,5 bar seviyesinde maksimum (Kesicilerde 1 bar basıncın çalışma basıncı olarak seçilmesinin sebebi de budur.) koruma sağlarken karışımındaki oranı düşüktüğü basınç seviyesi pozitif yönde kayar. İncelenen deney düzeneğinde % 1 oranında bulunan SF<sub>6</sub> gazının 2 barda maksimum koruma sağlayıp KB sinyallerinin çıkışını engellediği ve dolayısıyla ortaya çıkış sürelerini de artırdığı söylenebilir.

Ancak tam bir sonuç elde edilmesi için farklı oranlardaki SF<sub>6</sub> gazı içeren birçok farklı deney sonucunun incelenmesi ve yorumlanması gereklidir.

#### 5.2.4 Gerilim- standart sapma grafiği

Şekil 5.21' de, KB sinyallerinin ortaya çıkış zamanları için gerilim seviyeleri artırıldıkça değişim gösteren standart sapma değerleri verilmiştir. Burada, deney sürelerinin tamamında ölçülen veriler kullanılmıştır.

Şekil 5.22' de, KB sinyallerinin genlikleri için gerilim seviyeleri artırıldıkça değişim gösteren standart sapma değerleri verilmiştir. Burada da deney sürelerinin tamamında ölçülen veriler kullanılmıştır.

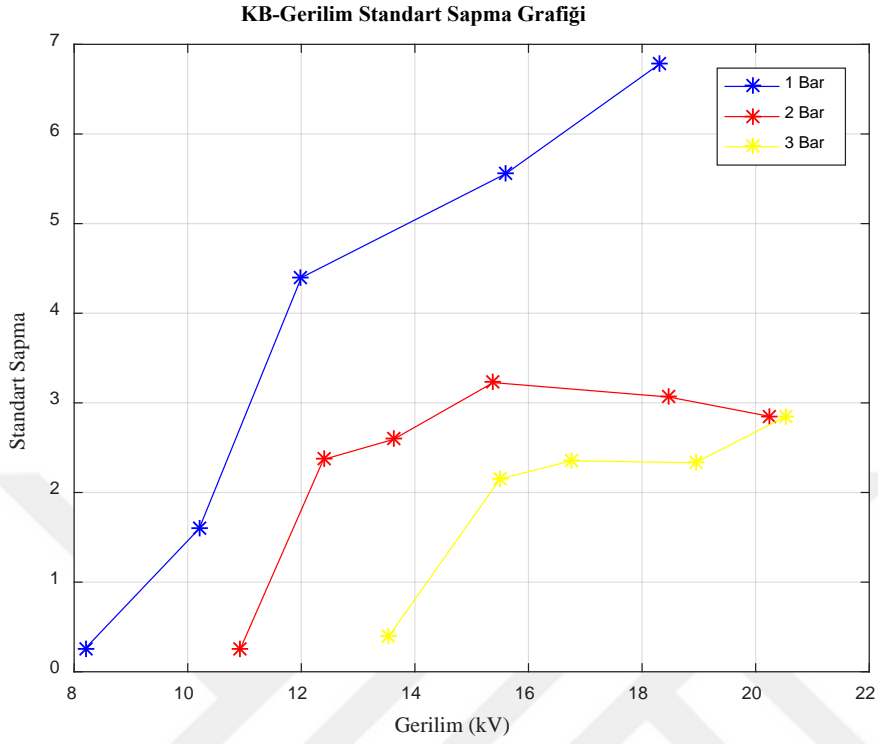


Şekil 5.21 : Delta t zaman aralığının gerilime bağlı standart sapma değişimi.

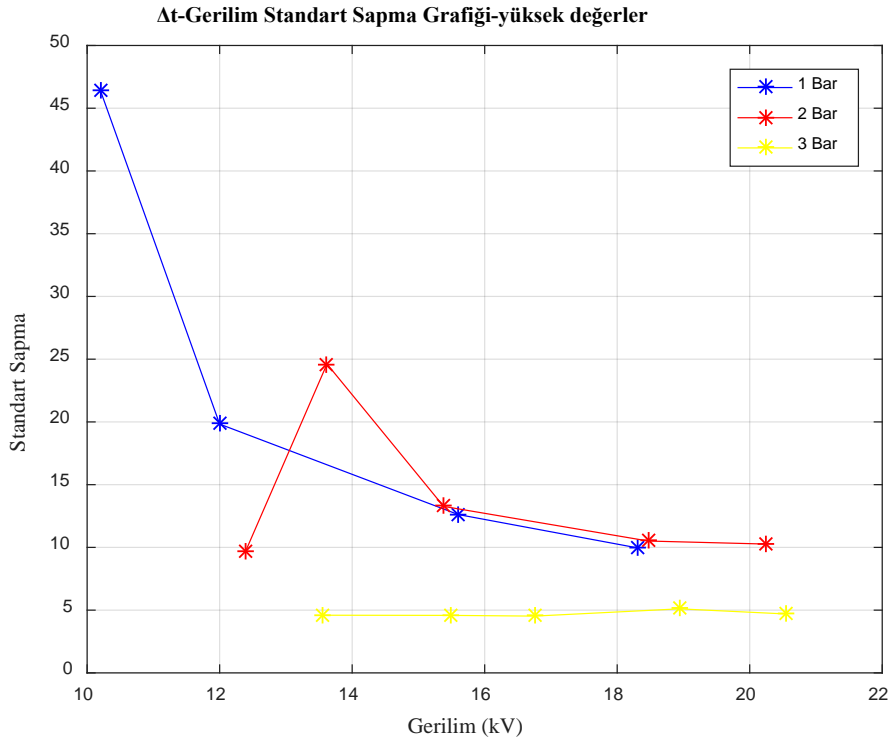
Şekil 5.23' te de, KB sinyallerinin ortaya çıkış zamanları için gerilim seviyeleri artırıldıkça değişim gösteren standart sapma değerleri verilmiştir. Fakat burada, deney sürelerinin tamamında ölçülen veriler değil, bölüm 5.1' deki gibi eşik değerinin üzerinde kalacak şekilde ayrılmış olan veriler kullanılmıştır.

Şekil 5.24' te, KB sinyallerinin genlikleri için gerilim seviyeleri artırıldıkça değişim gösteren standart sapma değerleri verilmiştir. Burada da deney sürelerinin

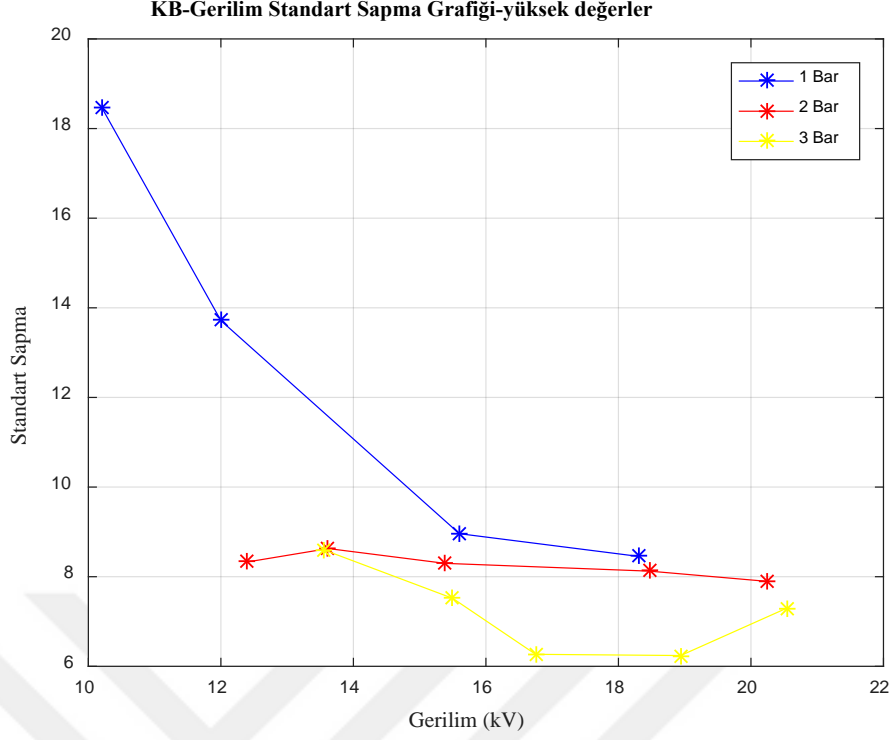
tamamında ölçülen veriler değil, bölüm 5.1’deki gibi eşik değerinin üzerinde kalacak şekilde ayrılmış olan veriler kullanılmıştır.



**Şekil 5.22 :** Kısmi boşalmanın gerilime bağlı standart sapma değişimi.



**Şekil 5.23 :** Yüksek değerler için delta t zaman aralığının gerilime bağlı standart sapma değişimi.



**Şekil 5.24 :** Yüksek değerler için kısmi boşalmanın gerilime bağlı standart sapma değişimi.

Şekil 5.21 ve Şekil 5.23’ teki KB sinyallerinin ortaya çıkış zaman aralıklarının standart sapmalarına bakılırsa, 3 bar için bu değerlerin en düşük seviyede olduğu görülür. Zaten Şekil 5.9 ve Şekil 5.21’ deki basıklık ile Şekil 5.13 ve Şekil 5.15’ teki çarpıklık grafiklerinde de bu değerlerin sıfıra çok yakın olduğu görülmekte idi. Bu grafiklerden çıkarılabilecek sonuç, düşük basınçlarda KB’ lerin ortaya çıkış zamanlarının birbirinden daha uzak olduğudur.

Şekil 5.22 ve Şekil 5.24’ teki KB sinyallerinin genliklerindeki standart sapmaların dağılımına bakılacak olursa, basınçla ters bir bağıntıları olduğu görülür. Bunun sebebi ise, düşük basınçlarda KB’ lerin daha rahat ortaya çıkması ve dolayısıyla bu basınçlarda çok çeşitli değerlerde KB sinyallerinin oluşmasıdır.

### 5.3 Korelasyon Katsayıları ve Analizleri

KB sinyallerinin be bu sinyallerin gerçekleşme zamanlarının basınç değerlerine göre birbirine ne kadar benzediği görülmek istenmiş ve bu amaçla korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Deneydeki basınçlar için ikili kombinasyonlar halinde hesaplanan bu katsayılar Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’ de verilmiştir.

**Çizelge 5.1 : Tüm ölçümlerin basınçlara göre korelasyon katsayıları.**

Gerilim Değerleri	12 kV		15 kV		18 kV		20 kV	
	$\Delta t$	KB	$\Delta t$	KB	$\Delta t$	KB	$\Delta t$	KB
1 Bar - 2 Bar	0.00021	0.0024	-0.0484	-0.0858	0.0116	-0.029	-	-
1 Bar - 3 Bar	-	-	-0.0072	<b>-0.1709</b>	-0.0128	0.0554	-	-
2 Bar - 3 Bar	-	-	0.0123	0.0253	0.0339	-0.0099	-0.0113	-0.0114

**Çizelge 5.2 : Yüksek değerli ölçümlerin basınçlara göre korelasyon katsayıları.**

Gerilim Değerleri	12 kV		15 kV		18 kV		20 kV	
	$\Delta t$	KB	$\Delta t$	KB	$\Delta t$	KB	$\Delta t$	KB
1 Bar - 2 Bar	-0.0459	-0.0244	-0.0154	-0.0135	0.0123	<b>-0.2246</b>	-	-
1 Bar - 3 Bar	-	-	-0.0062	<b>-0.3442</b>	-0.0997	<b>-0.1212</b>	-	-
2 Bar - 3 Bar	-	-	-0.0396	0.0935	-0.019	0.153	-0.0331	<b>0.3068</b>

Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2’ de görüleceği gibi, farklı basınçlar altında fakat aynı gerilim seviyelerinde gerçekleşen KB olaylarının birbirine benzerliği genelde düşüktür (korelasyon katsayıları 1’ den uzaktır.).

Çizelge 5.1’ deki tüm ölçümlerin hesaplandığı korelasyon katsayılarına bakılırsa, 15 kV gerilim değerinde 1 bar ve 3 bar basınçlar altındaki KB sinyallerinin % 17.09 benzerlik gösterdiği söylenebilir.

Çizelge 5.2’ deki yüksek değerli ölçümlerin hesaplandığı korelasyon katsayılarına bakılırsa, 15 kV gerilim değerinde 1 bar ve 3 bar basınçlar altındaki KB sinyalleri % 34.42 benzerlik gösterir. Benzer şekilde, , 18 kV gerilim değerinde 1 bar ve 3 bar basınçlar altındaki KB sinyallerinin % 12.12, 1 bar ve 2 bar basınçlar altındaki KB sinyallerinin % 22.46 benzerlik gösterdiği söylenebilir. 20 kV gerilim değerinde 2 bar ve 3 bar basınçlar altındaki KB sinyallerinin % 30.68 benzerdirler.

Çizelge 5.3’ te, her üç basınç değeri için farklı gerilim seviyeleri arasındaki korelasyon katsayılarının, dolayısıyla benzerliklerin, yüksek değerlerde olduğu görülmektedir.

**Çizelge 5.3 :** Gerilim değerlerine göre yüksek değerli ölçümlerin korelasyon katsayıları.

Basınç Değerleri	1 Bar		2 Bar		3 Bar	
	$\Delta t$	KB	$\Delta t$	KB	$\Delta t$	KB
12 kV- 15kV	0.0121	<b>0.2431</b>	-0.0351	-0.109	-	-
12 kV- 18kV	-0.0278	-0.0096	0.0669	<b>0.4727</b>	-	-
12 kV- 20kV	-	-	0.0148	<b>0.3291</b>	-	-
15 kV- 18kV	-0.0316	<b>-0.1953</b>	-0.0037	-0.1078	0.0444	0.1003
15 kV- 20kV	-	-	0.0096	0.0046	-0.0101	<b>0.5285</b>
18 kV- 20kV	-	-	0.0081	<b>0.3304</b>	0.0071	0.0797

1 bar basınç altında 12 kV ile 15 kV gerilim seviyelerinde ortaya çıkan KB sinyallerinin korelasyon katsayısı 0.2431’ dir, yani bu iki gerilim seviyesinde oluşan KB’ ler birbirine % 24.3 oranında benzerdirler.

1 bar basınç altında 15 kV ile 18 kV gerilimlerde ortaya çıkan KB sinyallerinin korelasyon katsayısı -0.1953’ tür, yani bu iki gerilim seviyesinde oluşan KB’ ler birbirine % 19.5 oranında benzerdirler.

Benzer şekilde, 3 bar basınç altında 15 kV ile 20 kV gerilimlerde ortaya çıkan KB sinyallerinin korelasyon katsayısı 0.5285’ tir, yani bu iki gerilim seviyesinde oluşan KB’ ler birbirine % 52.85 oranında benzerdirler.

2 bar basınçta alınan ölçümlerde ise 12 kV ile 18 kV gerilimlerde ortaya çıkan KB sinyallerinin korelasyon katsayısı 0.4727 (benzerlik oranı % 47.27), 12 kV ile 20 kV gerilimlerde ortaya çıkan KB sinyallerinin korelasyon katsayısı 0.3291 (benzerlik

oranı % 32.9), 18 kV ile 20 kV gerilimlerde ortaya çıkan KB sinyallerinin korelasyon katsayısı 0.3304 (benzerlik oranı % 33)' tür.

Çizelge 5.1, Çizelge 5.2 ve Çizelge 5.3' teki korelasyon katsayılarına göre, aynı basınç seviyesinde yapılan ölçümlerde KB sinyallerinin benzerlik oranının, aynı gerilim seviyesinde yapılan ölçümlere göre daha yüksek olduğu söylenebilir. Ayrıca, Çizelge 5.3' ten, basınç değeri arttıkça KB sinyallerinin benzerlik oranının da arttığı söylenebilir.



## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, % 1 oranında SF<sub>6</sub> ve % 99 oranında N<sub>2</sub> gaz karışımında sıvri uç - düzlem elektrot sisteminde kısmi boşalmaların istatistiksel analizi yapılmıştır. % 1 SF<sub>6</sub> + % 99 N<sub>2</sub>, kesici kontaklarında yaygın olarak kullanılan bir gaz oranıdır. Dolayısıyla, tez konusu deney düzeneğinde gerçekçi bir gaz karışımının seçildiğini söylemek mümkündür. Sıvri uç - düzlem elektrot sisteminin kullanılması ise ortamın düzgün alan seçilmediğini gösterir ki gerçekte de kesici kontakları ve diğer yalıtkanların bulunduğu elektrot sistemleri, düzgün olmayan alanlardır. Basınç aralığı olarak 1 bar, 2 bar ve 3 bar basınçlar seçilerek ölçümler tekrarlanmıştır.

Analizler, kısmi boşalmaların ilk görülmeye başlandığı gerilim düzeyi olan 12 kV seviyesinden başlatılmıştır. Kısmi boşalmalar, her basınç aralığı ve gerilim seviyesi (Boşalmaların olduğu gerilim seviyeleri) için pozitif ve negatif kutbiyette analiz edilmiştir.

Yapılan analizlerle birlikte çizilen histogramlarda, kısmi boşalmaların meydana gelme süresi ( $\Delta t$ )  $\mu s$  olarak değerlendirilmiştir. 1 bar, 2 bar ve 3 bar basınçlar için  $\Delta t$  genel olarak 3- 7  $\mu s$  arasında seyretmiştir. 30- 40  $\mu s$  arasında değişen zaman aralıkları da seyrek olarak mevcuttur.

Ayrıca, zamana göre her gerilim seviyesinde KB değeri pC olarak grafikler halinde verilmiştir. Bu grafikler, deneylerin süresine bağlı olarak 3- 4 periyotluk veriler halindedir. KB verilerine bakıldığında, yaklaşık 0.6- 0.8 pC' luk bir temel yük seviyesinin her zaman mevcut olduğu görülmüştür. Bu nedenle bazı ölçümler yalnız 2 pC ve üzeri veriler göz önüne alınarak değerlendirilmiştir. Bazı değerlendirmelerde ise temel gürültü olarak adlandırılan veriler ve KB' ye ilişkin büyük genlikli işaretler iki ayrı grup olarak incelenmiştir.

Genel itibarıyla, gerilim arttıkça KB değerlerinin arttığı gözlenmiş ve basıncın artması ile KB' ların daha geç ortaya çıktığı görülmüştür. Basınç arttıkça KB değerlerinin grafiklerindeki dağılımı azalmıştır.

İstatistiksel analizlerde  $\Delta t$  ve KB genliklerinin basıklık, çarpıklık, ortalama değer, standart sapma değerleri ile korelasyon katsayıları da hesaplanmış ve değerlendirilmiştir.

KB olayları, doğası gereği lineer olmayan sistemlerin özelliklerini göstermektedir. Dolayısıyla istatistiksel dağılımları simetrik değil asimetrik özellikler gösterir. Asimetrik özelliklerin parametresi çarpıklıktır ve tez çalışmasındaki verilerin çarpıklık katsayıları da yüksek değerlerde çıkmıştır. Ayrıca, diğer bir asimetrik parametre olan basıklık katsayılarının da yüksek değerlerde çıktığı görülmüştür.

1 bar basınçta basıklık daha yüksek değerlere sahipken sırasıyla 2 bar ve 3 barda basıklıkların daha düşük olduğu görülmüştür. Sebebi, 1 barda gerçekleşen KB sinyallerinin genlikleri ve gerçekleşme zamanları arasındaki farkın, 3 barda gerçekleşen KB sinyallerinin genlikleri ve gerçekleşme zamanları arasındaki farktan daha büyük olmasıdır.

Çarpıklık değerleri incelendiğinde, 1 bar ve 2 bardaki ölçümlerin birbirinden daha uzak seyretmesinden dolayı değerlerinin de daha büyük olduğu söylenebilir. 3 barda ise ölçümlerin daha düzenli bir dağılımda seyrettiğini söylemek mümkündür. Yani KB sinyallerinin genlikleri ve gerçekleşme zamanları belirli bir ortalama değerde gerçekleşmiştir. Bu nedenle ortalama değer grafikleri ile standart sapma grafikleri de daha düzgün bir dağılıma sahiptir.

Yüksek değerli verilerin analizi her ne kadar zor olsa da bu değerlerin nispeten az olması ve çok raslantısal seyreden olaylar olmalarından dolayı istatistiksel grafiklerde düzgün olmayan ve yorumlanması zor dağılımlar yaratmıştır.

$\Delta t$ 'lerin ortalama değerlerine bakıldığında, gerilim arttıkça düşüş gösterdikleri söylenebilir. Sebebi ise gerilim arttıkça KB sinyallerinin daha sık ortaya çıkmasıdır ve bu da zaten bulunan sonuçlarla paralellik göstermektedir.

Standart sapma grafiklerinde ise hem  $\Delta t$  ve hem de KB genlikleri için 1 bar değerlerinin en yüksek, 3 bar değerlerinin ise en düşük olduğu görülmektedir. Sebebi, yukarıda belirtildiği gibi, 1 bardaki KB'lerde saçılmaların daha fazla olması, 3 barda ise daha birbirine yakın değerlerde gerçekleşmesidir.

KB sinyallerinin korelasyon katsayıları ise, gerilimle birlikte bir artış göstermemiş fakat basınç artışına bağlı olarak artmıştır. Bu durumda, basınç artarken oluşan KB sinyallerinin birbirine giderek daha fazla benzediği sonucu çıkarılabilir. Basınç artışı ile KB sinyallerinin ortaya çıkması baskılanarak güçleştiğinden, bu durum zaten beklenen bir sonuçtur.

Korelasyon katsayısının 1- 3 bar basınçlardaki 15 kV gerilim seviyesi verilerinde en yüksek değerde çıkmasını fiziksel bir nedene bağlamak zordur. KB' lerin, hem gerilim hem basınç parametreleri değişken alındığından lineerlik göstermemeleri ve raslantısal olaylar olmaları, bazı sonuçlar için değerlendirme yapmayı zorlaştırmaktadır.

Genel bir görüş ancak ve ancak daha fazla data ve parametre ile deneylerin tekrarlanması ile ortaya konabilir. Bu deney ve incelemeler de kuşkusuz bu çalışmanın devamı niteliğinde olacaktır.

Gelecekte, KB sinyallerinin spektral analizleri yapıp bu frekans incelemelerinden KB olaylarındaki çarpıklığın fiziksel özellikleri de detaylandırılabilir.





## KAYNAKLAR

- [1] **Kalenderli, Ö., Kocatepe, C., Arıkan, O.** (2005). *Çözümlü Problemlerle Yüksek Gerilim Tekniği Cilt 1*. İstanbul, ss. 2, 37, 195.
- [2] **Ficker, T.**, (1995). Fractal statistics of partial discharges with polymeric samples, *1995 American Institute of Physics*
- [3] **Wu, X., Ye, H.** (2017). Statistical Methods based on Parameters Applied to the Partial Discharge Pattern Recognition in Power Devices, *10th International Symposium on Computational Intelligence and Design*
- [4] **IEC Standard 60270:2001 + A1:2016 High-Voltage Test Techniques — Partial Discharge Measurements**
- [5] **Sirotnski, L. I. (Çeviren: Özkaya, M.)** (1964). *Yüksek Gerilim Tekniği, Gazlarda Deşarj Olayları*, İstanbul, ss. 185- 186.
- [6] **Samat, S.S., Musirin, I., Kusim, A. S.** (2012). The Effect of Supply Voltage on Partial Discharge Properties in Solid Dielectric, *IEEE International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO2012), Melaka, Malaysia: 6-7 June 2012*
- [7] **Kreuger, F. H.** (1989). *Partial Discharge Detection in High-Voltage Equipment*, New York, s. 6.
- [8] **Malik, N. H., Al- Arainy, A. A., Qureshi, M. I.** (1998). *Electrical Insulation in Power Systems*, New York, ss. 255- 256.
- [9] **Gataullin, A. M.** (2014). Recording and Processing of Partial Discharge Signals, *Instruments and Experimental Techniques*, 2014, Vol. 57, No. 4, ss. 426–430.
- [10] **Borsi, H., Gockenbach, E., Wenzel, D.** (1995). Separation of Partial Discharges from Pulse-Shaped Noise Signals with the Help of Neural Networks, *IEE Proc.-Sri. Meos. Technol., Vol. 142, No. 1 , January 1995*
- [11] **Krivda, A., Halén, S.** (1997). Recongition of Partial Discharges in Generators, *10th International Symposium on High Voltage Engineering, Canada, August 25- 29 1997*
- [12] **Florkowski, M., Florkowska, B.** (2007). Wavelet-based partial discharge image denoising, *IET Gener. Transm. Distrib., Vol. 1, No. 2, March 2007*
- [13] **Li, J., Si, W., Yao, X., Li, Y.** (2009). Measurement and simulation of partial discharge in oil impregnated pressboard with an electrical aging process, *Meas. Sci. Technol. 20 (2009)*
- [14] **Fidan, M., İsmailoğlu, H.** (2017). Harmonik kaynaklı gerilim bozulmalarının elektriksel kısmi boşalmalar üzerindeki etkilerinin incelenmesi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*
- [15] **Gulski, E.** (1995). Discharge pattern recognition in high voltage equipment, *IEE Proc.-Sci. Meas. Technol., Vol. 142, No. 1, January 1995*

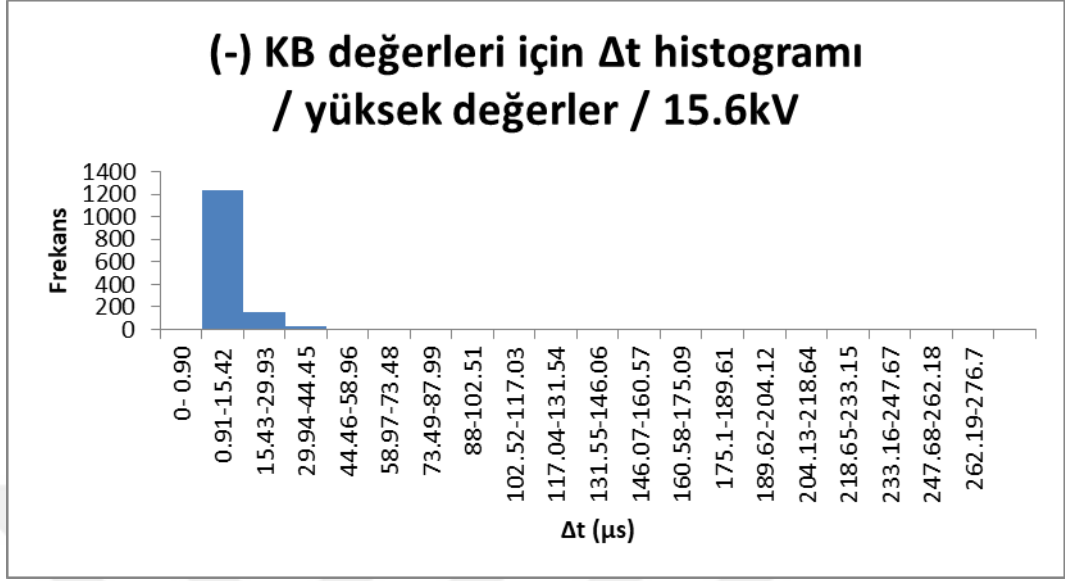
- [16] **Hoof, M., Patsch, R.** (1995). Pulse-Sequence Analysis : a new method for investigating the physics of PD-induced ageing, *IEE Proc.-Sci. Meas. Technol.*, Vol. 142, No. 1, January 199s
- [17] **Haddad, A., Warne, D.** (2004). *Advances in High Voltage Engineering*, London, s. 37.
- [18] **Prabakaran, T., Usa, S., Santosh Kumar, A.** (2013). Analysis of Partial Discharge Signals in 420 kV Gas Insulated Substation, *2013 IEEE 1st International Conference on Condition Assessment Techniques in Electrical Systems*
- [19] **Cho, M., Ishiyama S., Ohtsuka S., Hikita M.** (2004). Search of Optimum Gas Mixture Ratio as Gas Insulating Medium by Genetic Algorithm, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation* Vol. 11, No. 2; April 2004
- [20] **Houghton, J. T., Meira Filho L. G., Callender B. A., Harris, N., Kattenberg, A., Maskell K.** (1996). *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*, Cambridge, United Kingdom, s. 22.
- [21] **Saitou, H., Sakaki M.** (2007). Determination of Gas Pressure in Vacuum Interrupter Based on Partial Discharge, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation* Vol. 14, No. 3; June 2007
- [22] **Hikita, M., Kato, T., Okubo, H.** (1994). Partial Discharge Measurements in SF<sub>6</sub> and Air using Phase-resolved Pulse-height Analysis, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation* Vol. 1 No. 2, April 1994
- [23] **Tsurimoto, T., Muto, H., Doi, M., Ito, K., Fujii, H.** (1998). Correlation Between Two Frequency Components of Various PD Pulses in GIS, *Proceedings of 1998 International Symposium on Electrical Insulating Materials, in conjunction with 1998 Asian International Conference on Dielectrics and Electrical Insulation and the 30th Symposium on Electrical Insulating Materials, Toyohashi, Japan, Sept. 27-30, 1998*
- [24] **Hikita, M., Yamashita, H., Hoshino, T., Kato, T., Hayakawa, N., Ueda, T., Okubo, H.** (1998). Electromagnetic Noise Spectrum Caused by Partial Discharge in Air at High Voltage Substation, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 13, No. 2, April 1998
- [25] **Xie, J., Wang, Y., Lv, F., Li, M.** (2016). Denoising of partial discharge signal using rapid sparse decomposition, *Int. Trans. Electr. Energ. Syst.* 2016; 26:2494–2512
- [26] **Rajendran, A., Meena K P, Burjupati, N. R.** (2017). Simulation of Partial Discharges and Implementation of Noise Elimination Techniques, *3rd International Conference on Condition Assessment Techniques in Electrical Systems (CATCON)*
- [27] **Ishikura, T., Muto, H., Wada, K., Hosokawa, N.** (2008). Distinction of the partial discharge source in oil by two frequency correlation method, *2008 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, Beijing, China, April 21-24*

- [28] **Alkadi, R., Shaath, A., Gefe, F., Jaber, S., Rayes, N. A., El-Hag, A., Qaddoumi, N.** (2016). Smart Antenna-Based Partial Discharge Detection and Classification System, *Mediterranean Microwave Symposium, 2016 16th Mediterranean Microwave Symposium, MMS 2016*
- [29] **Okubo, H., Kato, T., Hayakawa, N., Hikita, M.** (1998). Temporal Development of Partial Discharge and Its Application to Breakdown Prediction in SF6 Gas, *IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 13, No. 2, April 1998*
- [30] **Tsurimoto, T., Yoshimura, M., Muto, H., Arioka, M.** (2008). Partial Discharge Monitoring System for Cubicle Type GIS, *2008 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, Beijing, China, April 21-24, 2008*
- [31] **Leung, Y.C., MacAlpine, J.M.K.** (2002). *Electric Power Systems Research*, Hong Kong, s. 33.
- [32] **CIGRE WG A1.10.** *Survey of Hydrogenerator Failures; Cigre Report 392*; Paris, 2009
- [33] **Luo, Y., Li, Z., Wang, H.** (2017). A Review of Online Partial Discharge Measurement of Large Generators, *Energies 2017*
- [34] **Şeker, S., Akıncı, T. Ç.** (2013). *İstatistiğe Giriş ve Rastgele Sayılarla Uygulamalar*, Ankara, ss. 1, 18, 92
- [35] **Sımksaran, E.** (1999). *İstatistiksel Yöntemler*, İstanbul, s. 451.
- [36] **Güler, F.** (2007). *Temel İstatistik*, İstanbul, ss. 179, 180, 181.

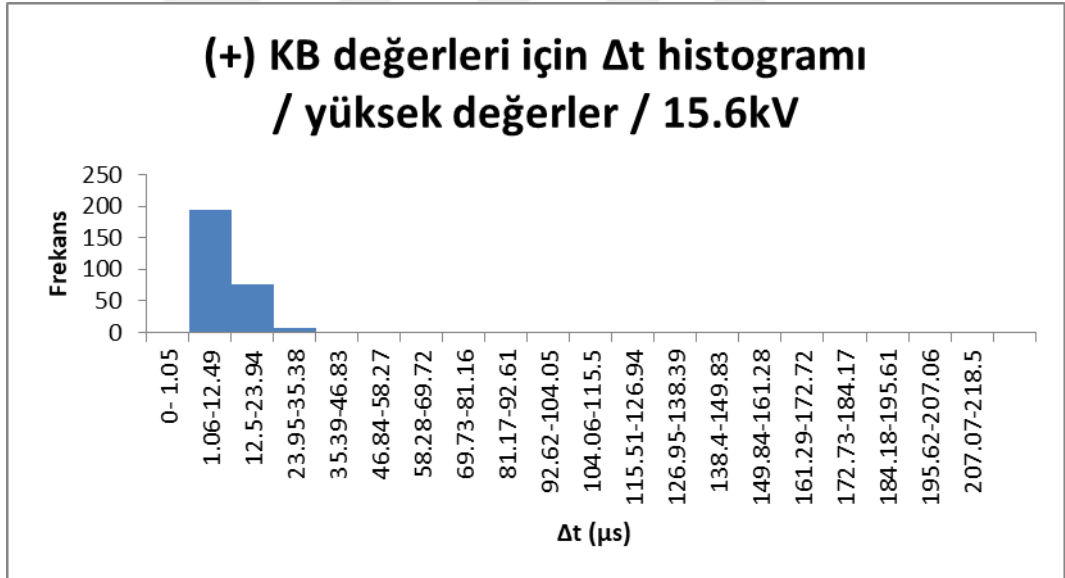


## EKLER

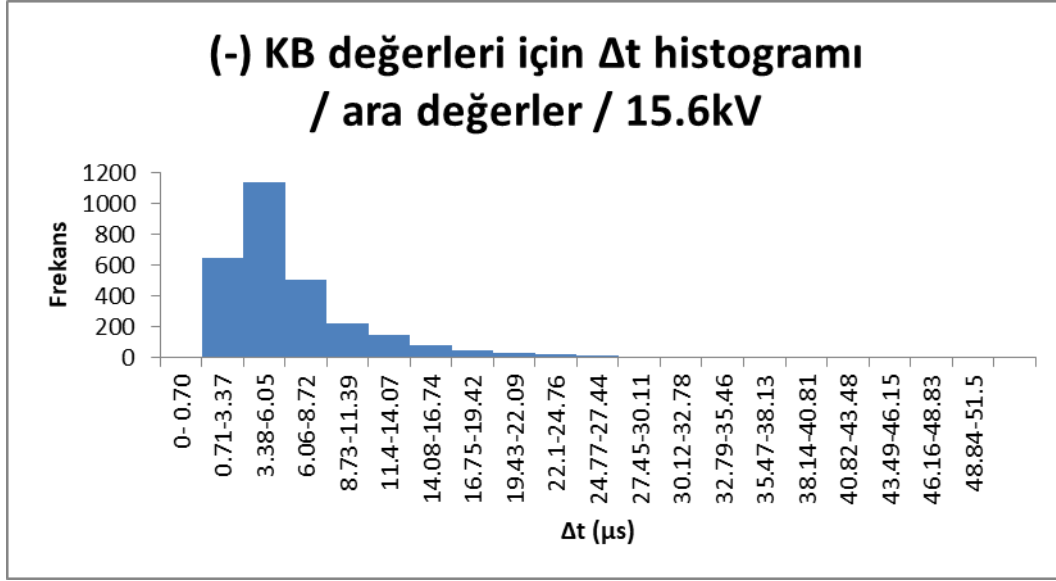
### EK A: Histogramlar



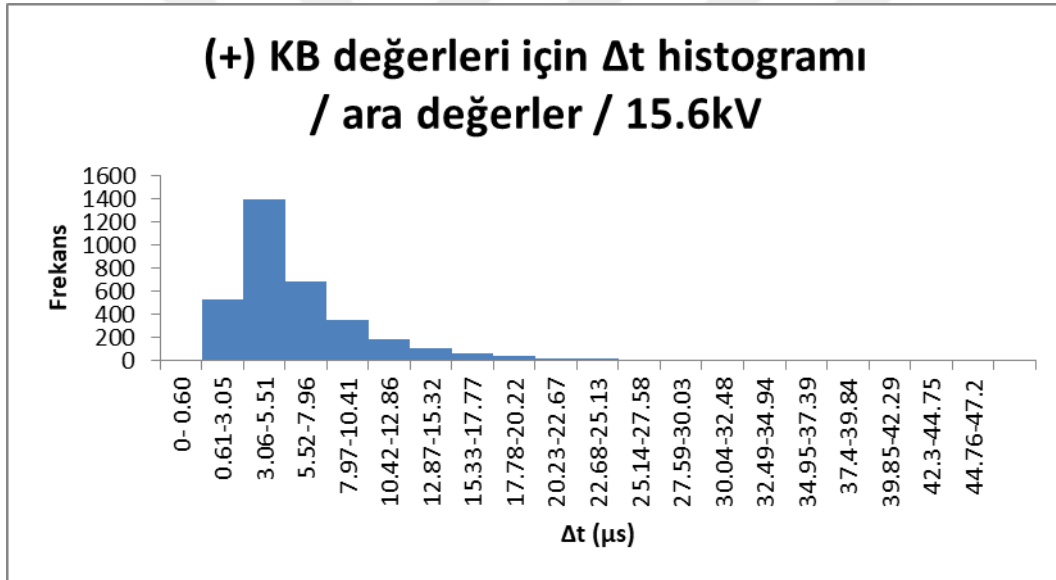
Şekil A.1 : 1 bar 15 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.



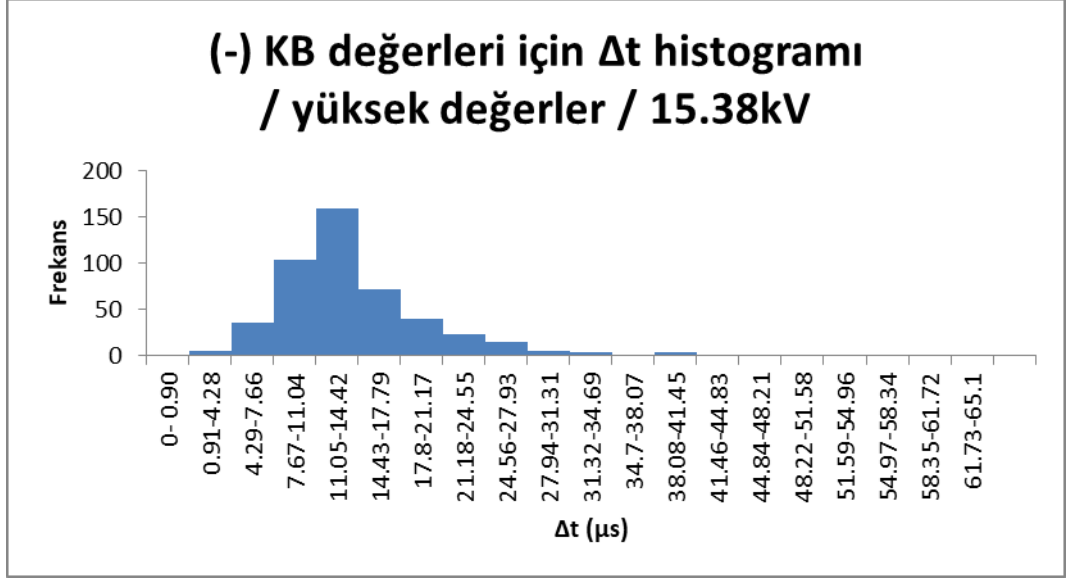
Şekil A.2 : 1 bar 15 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.



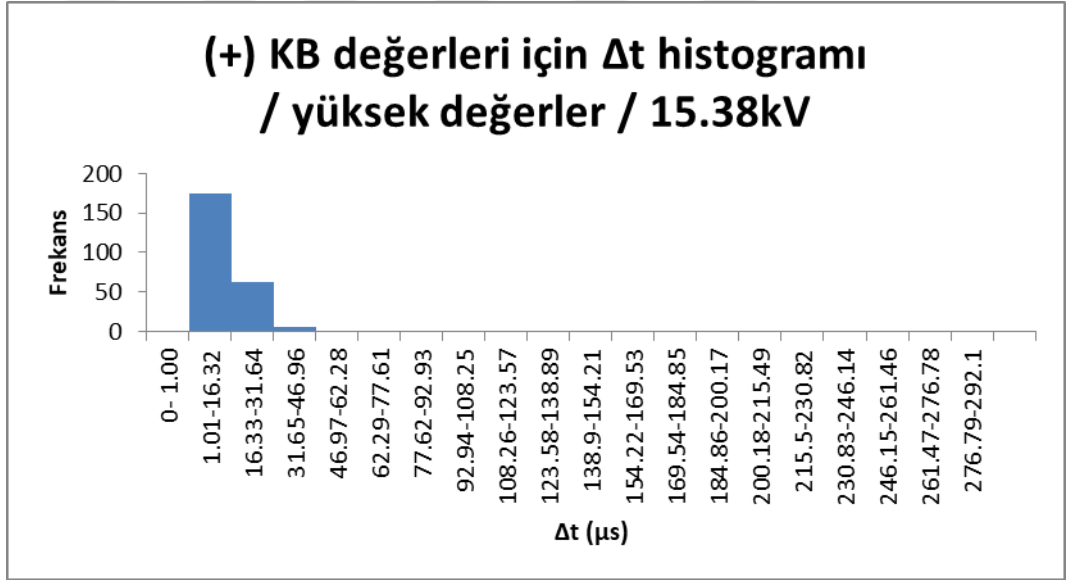
**Şekil A.3 :** 1 bar 15 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.



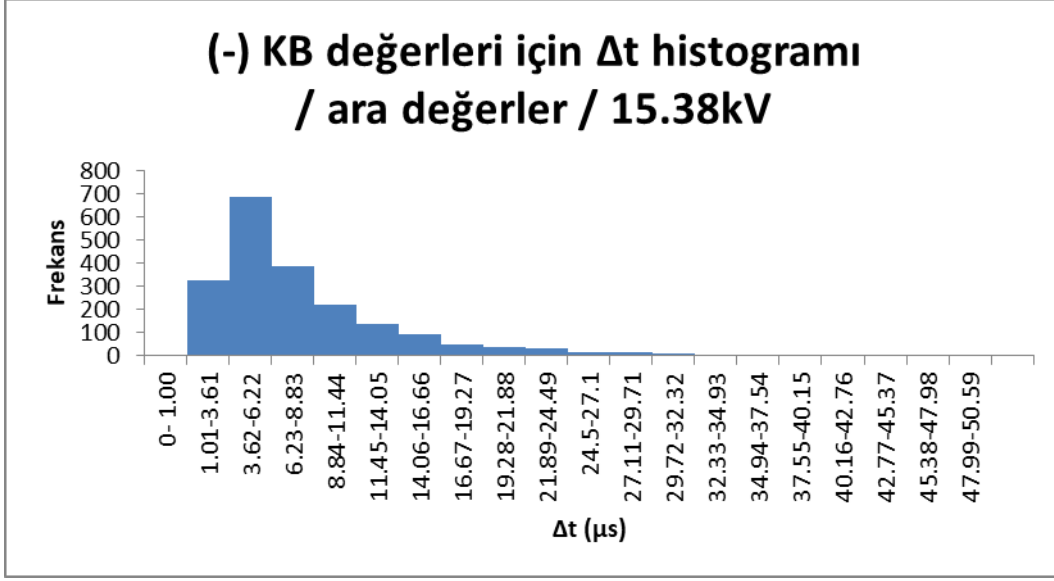
**Şekil A.4 :** 1 bar 15 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı



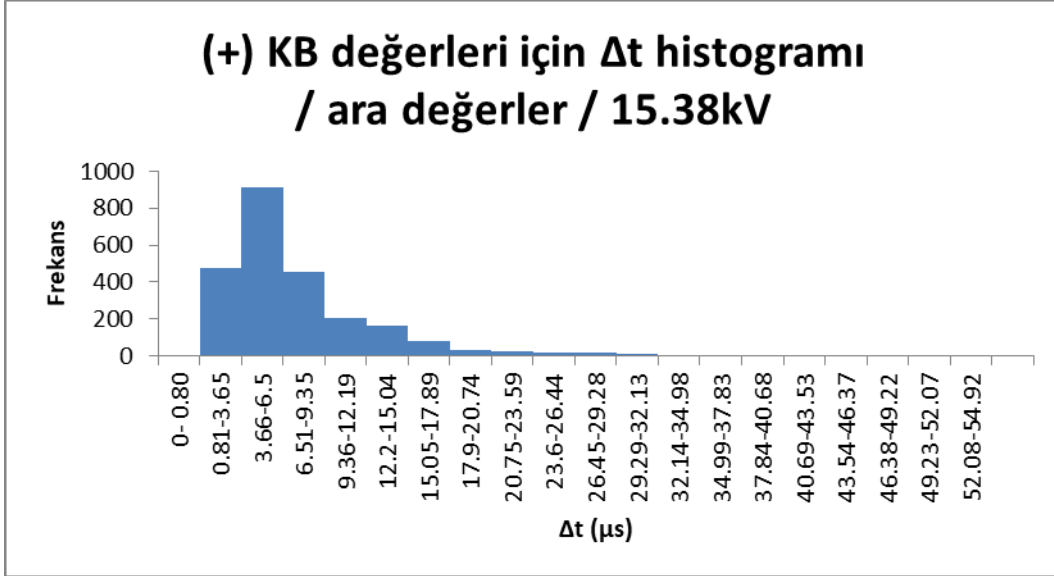
Şekil A.5 : 2 bar 15 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.



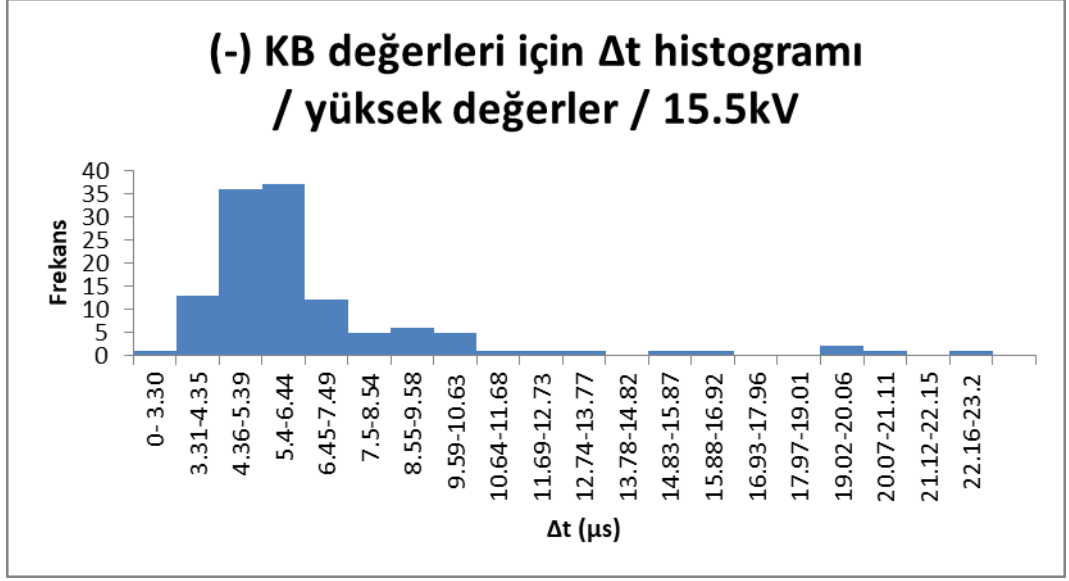
Şekil A.6 : 2 bar 15 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.



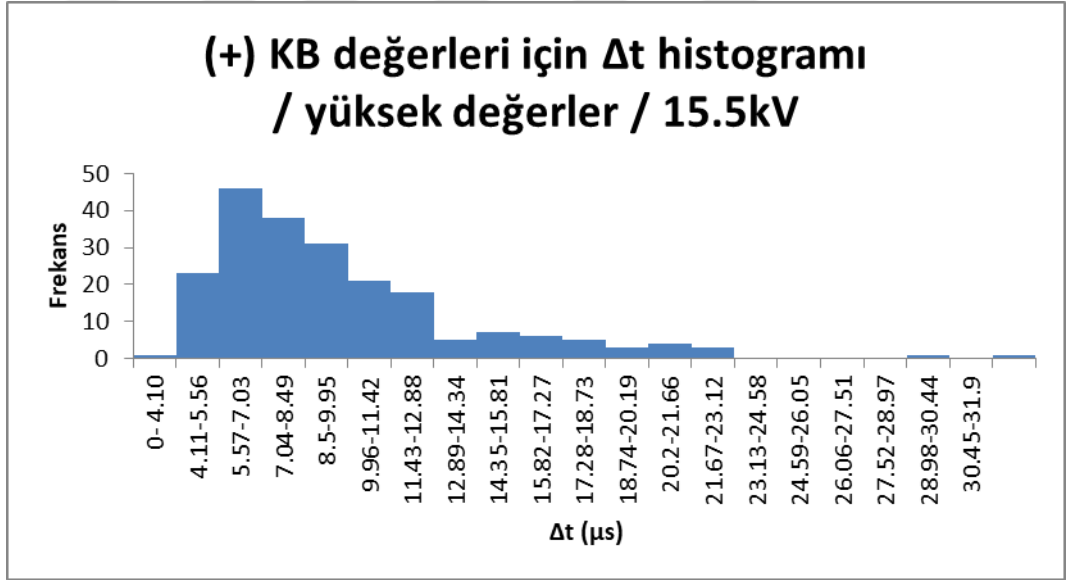
Şekil A.7 : 2 bar 15 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.



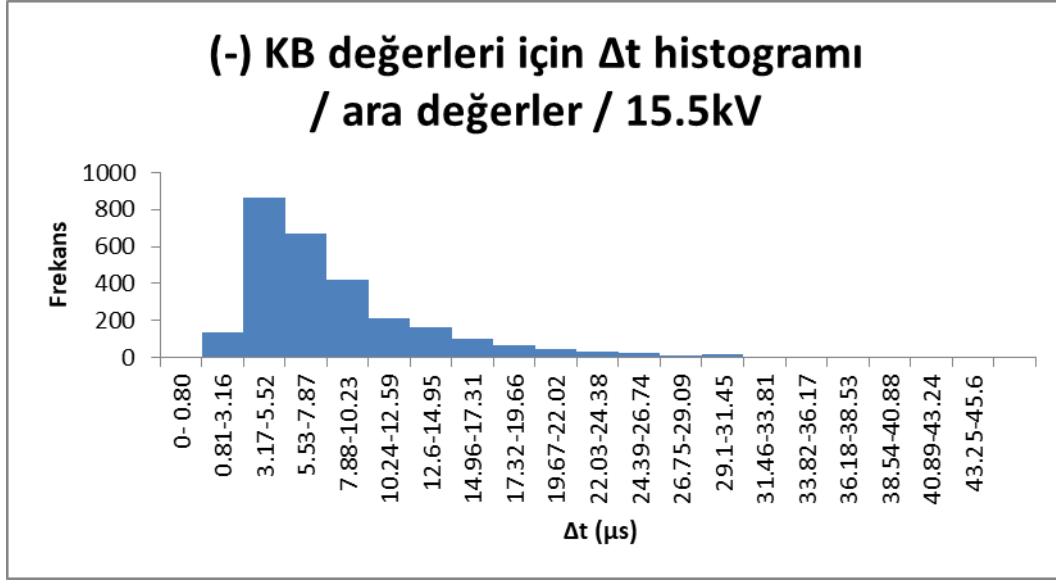
Şekil A.8 : 2 bar 15 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.



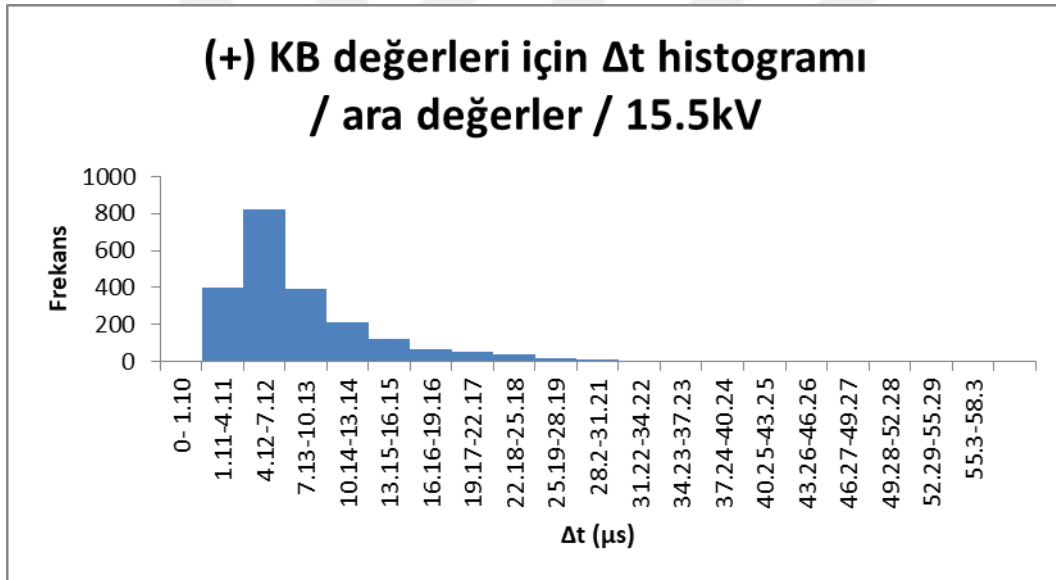
**Şekil A.9 :** 3 bar 15 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı



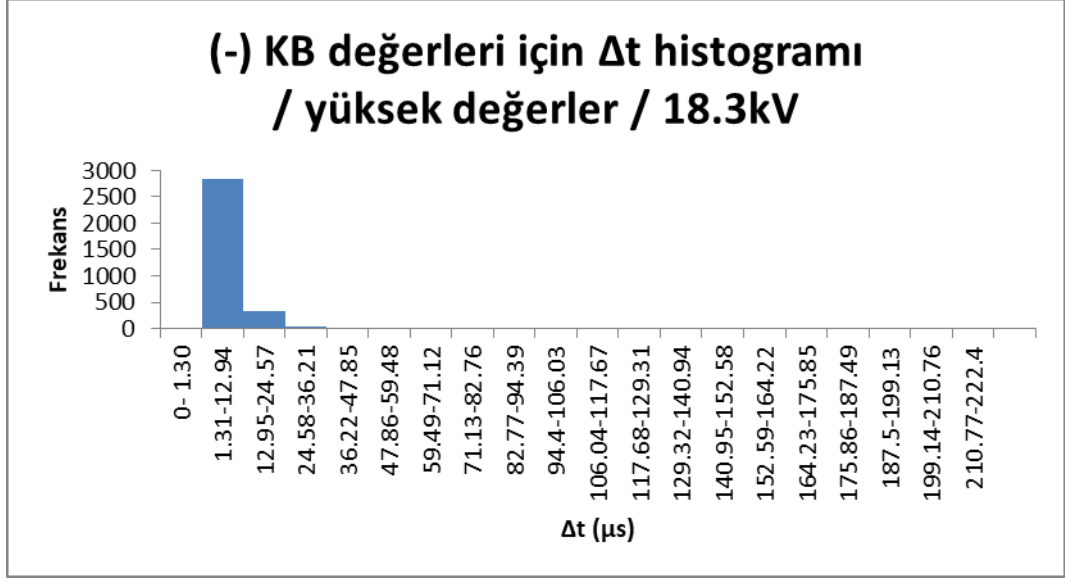
**Şekil A.10 :** 3 bar 15 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı



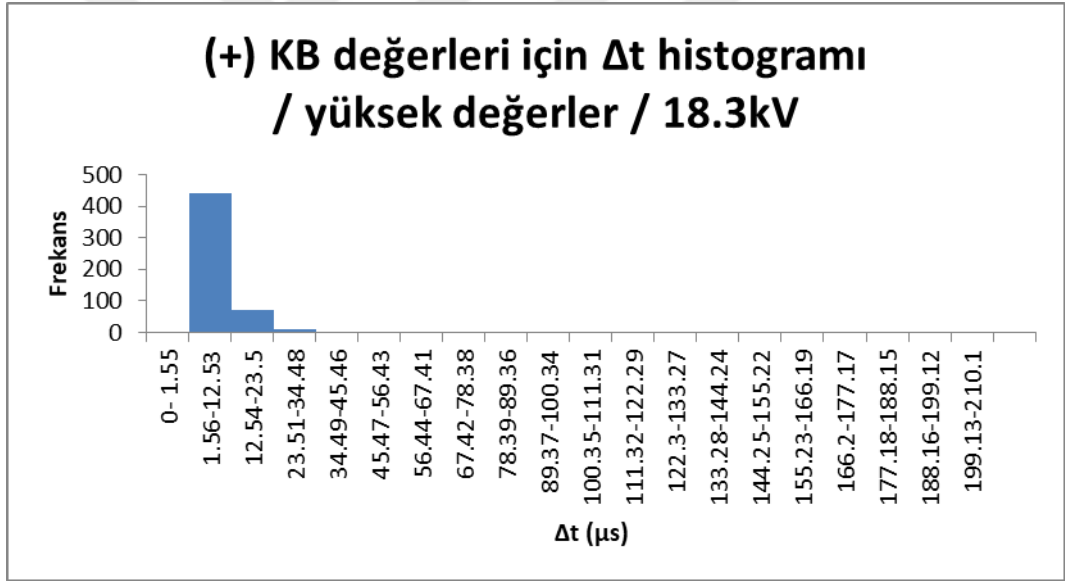
Şekil A.11 : 3 bar 15 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.



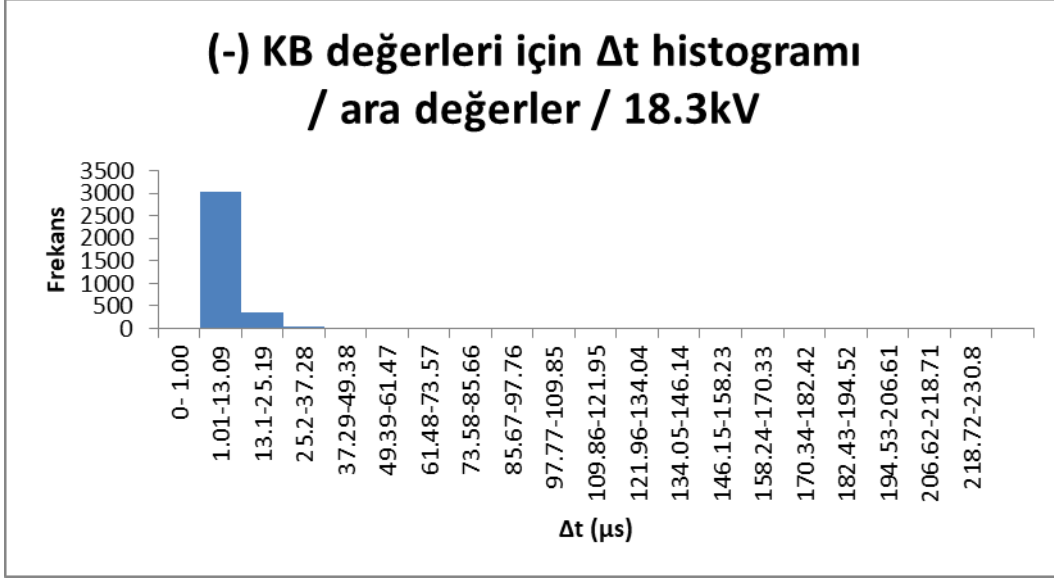
Şekil A.12 : 3 bar 15 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.



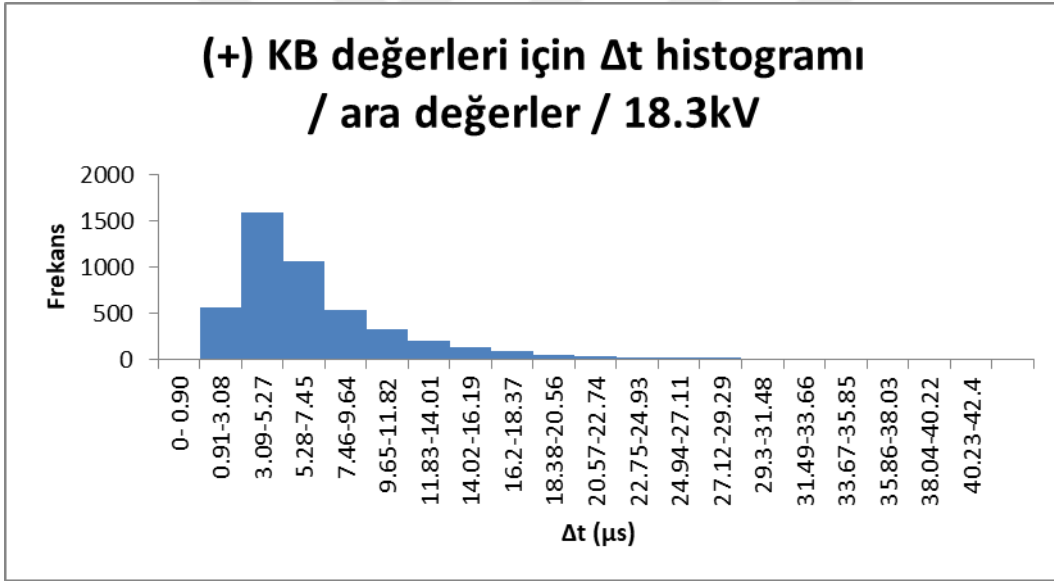
**Şekil A.13 :** 1 bar 18 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.



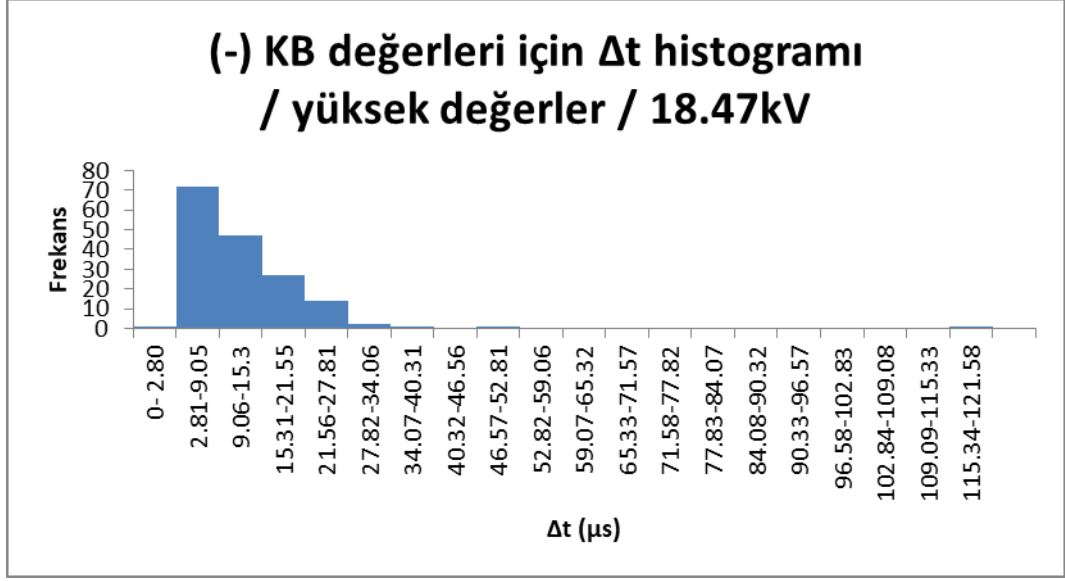
**Şekil A.14 :** 1 bar 18 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.



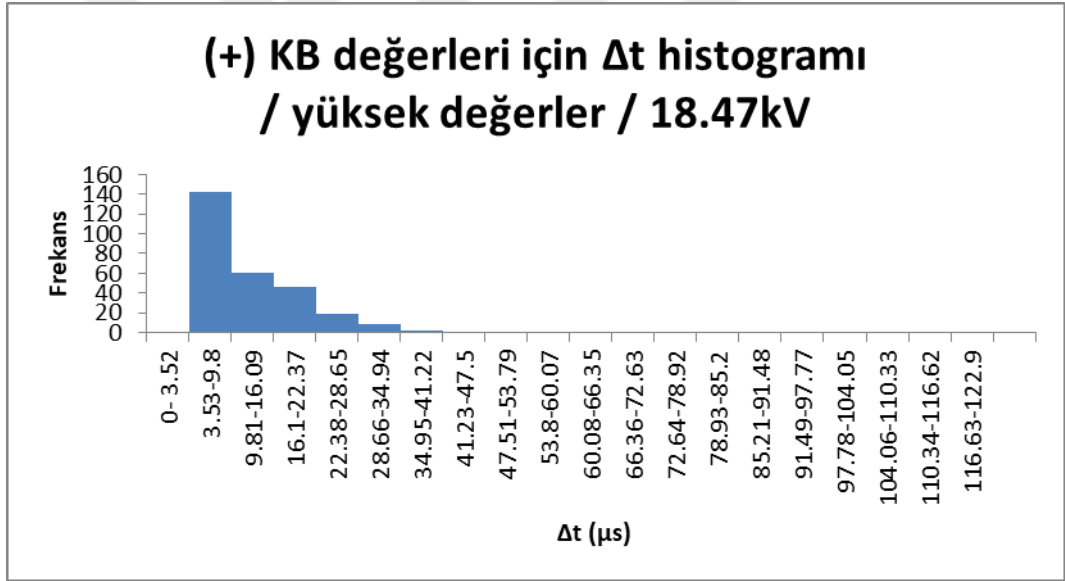
Şekil A.15 : 1 bar 18 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.



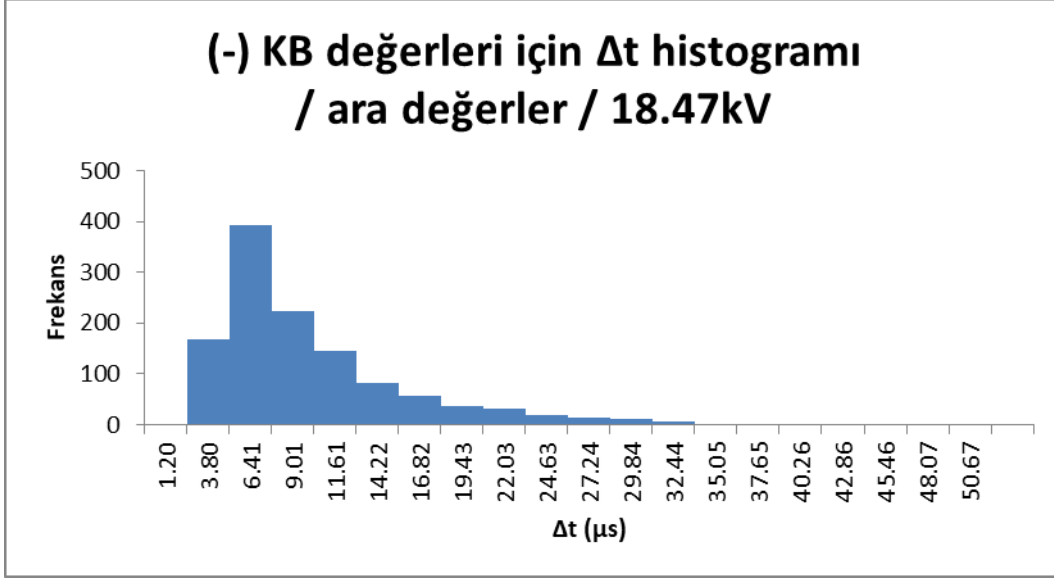
Şekil A.16 : 1 bar 18 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.



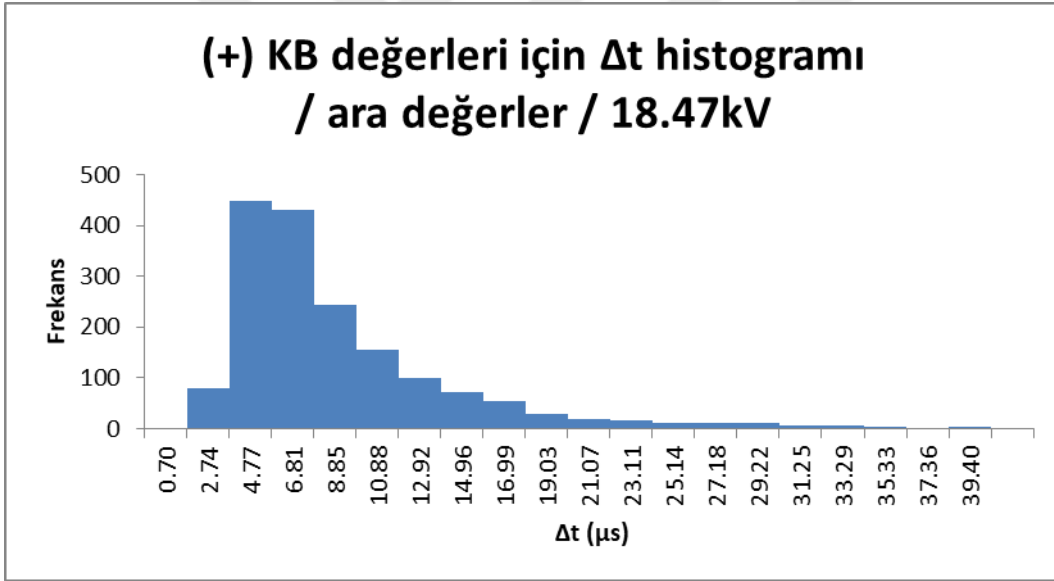
**Şekil A.17 :** 2 bar 18 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.



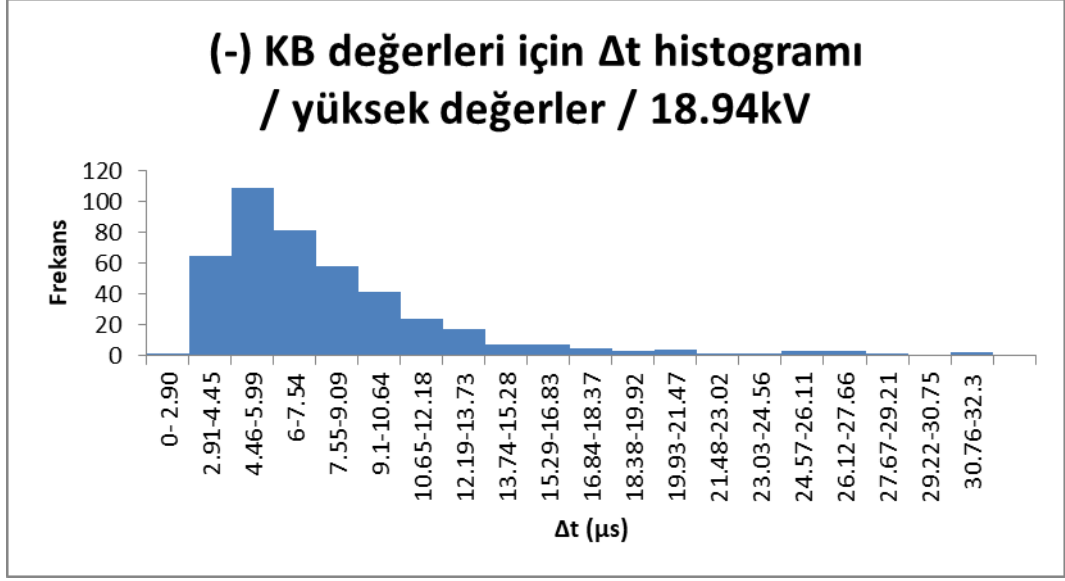
**Şekil A.18 :** 2 bar 18 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.



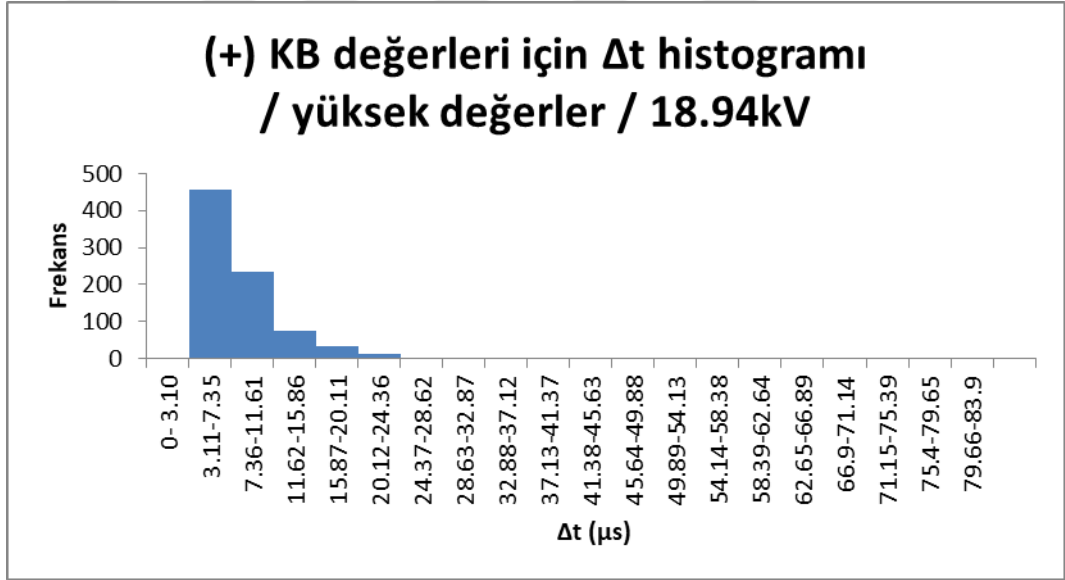
**Şekil A.19 :** 2 bar 18 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.



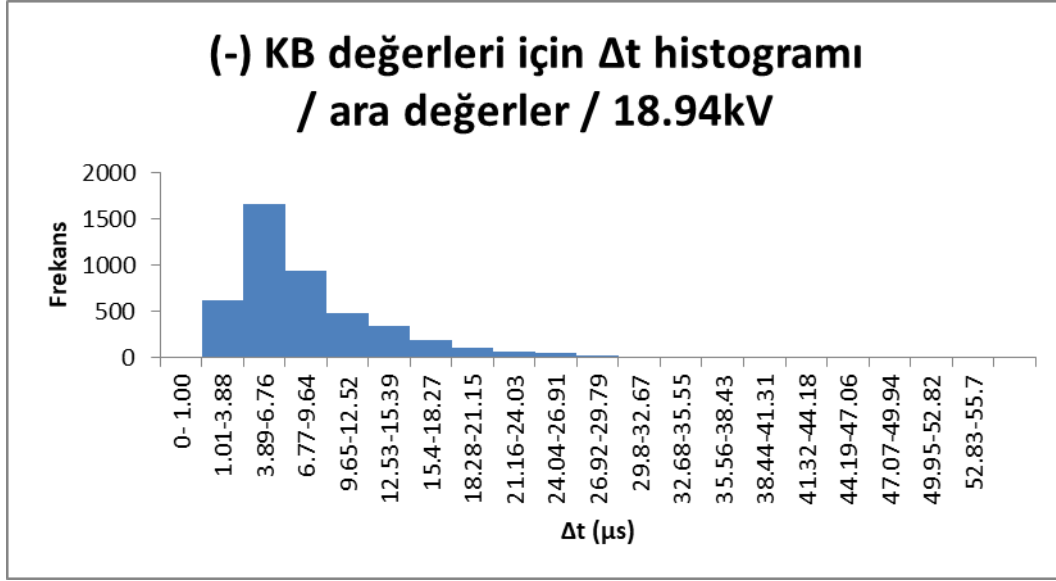
**Şekil A.20 :** 2 bar 18 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.



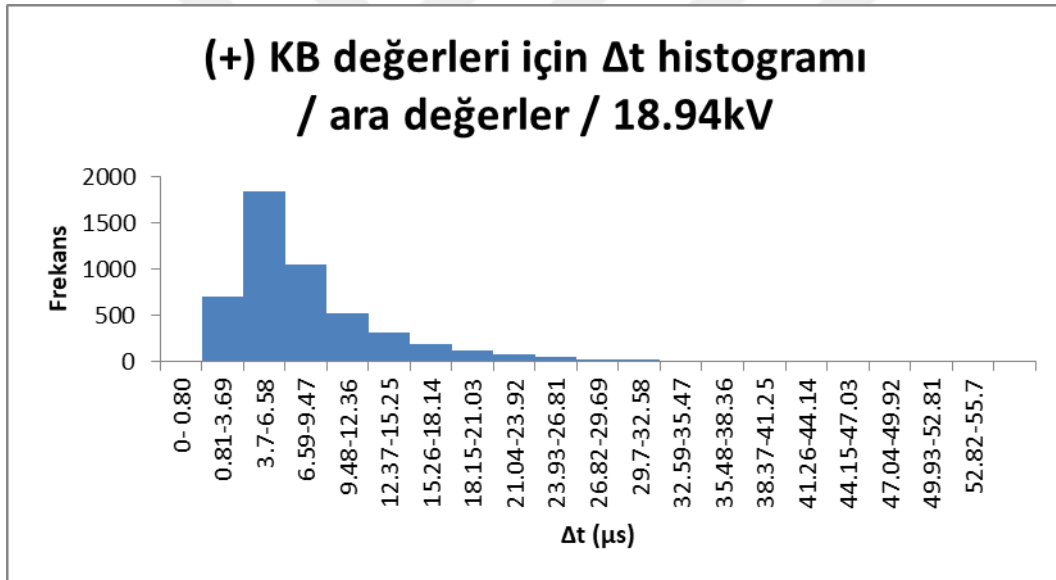
**Şekil A.21 :** 3 bar 18 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.



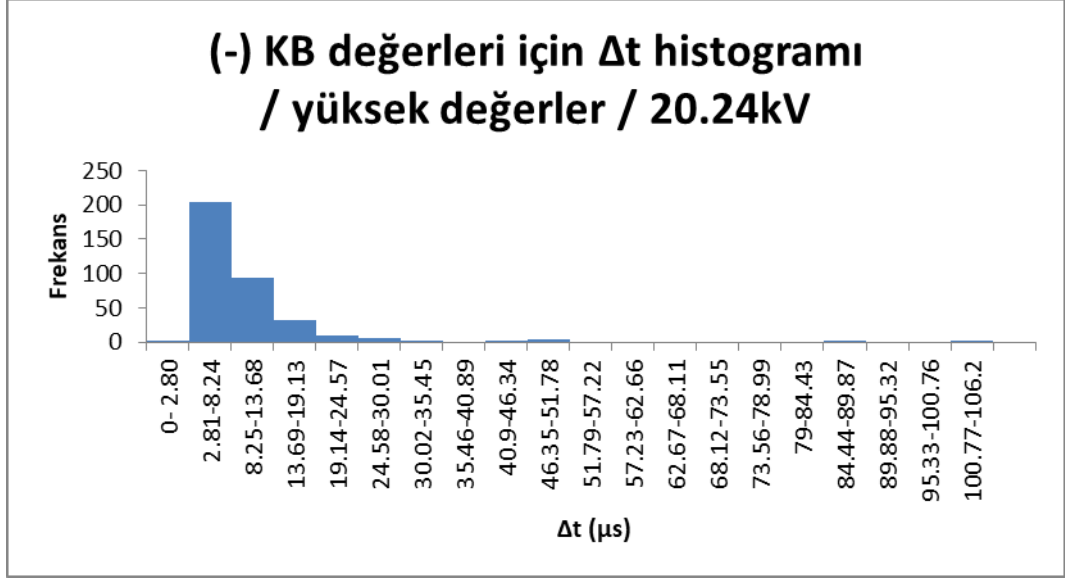
**Şekil A.22 :** 3 bar 18 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.



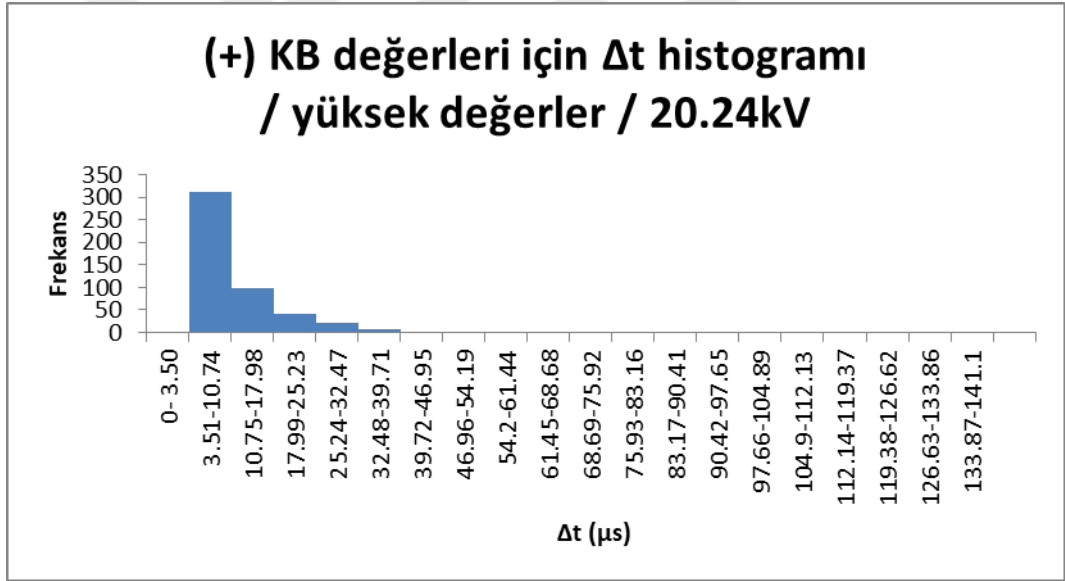
Şekil A.23 : 3 bar 18 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.



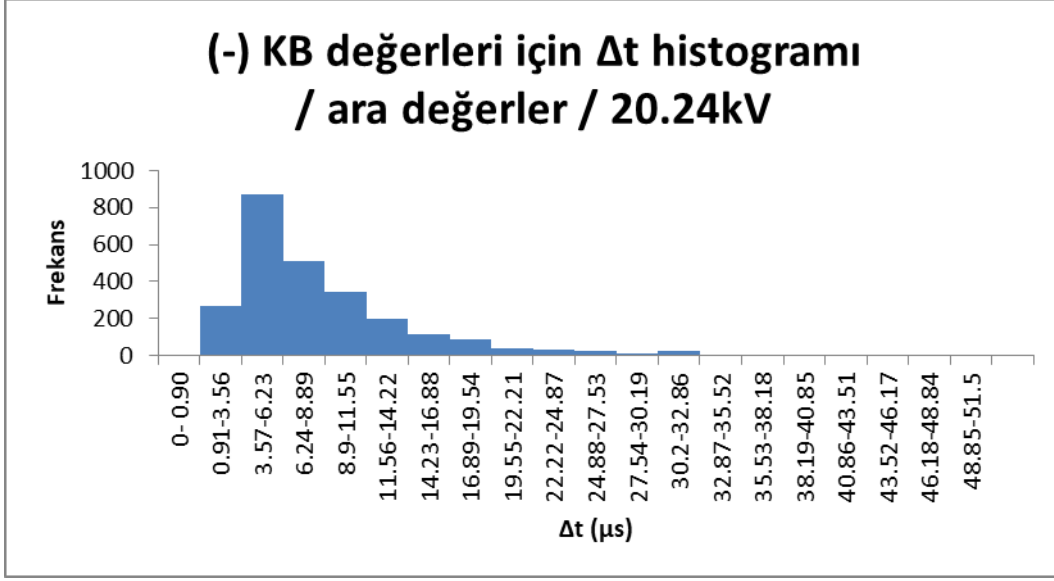
Şekil A.24 : 3 bar 18 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.



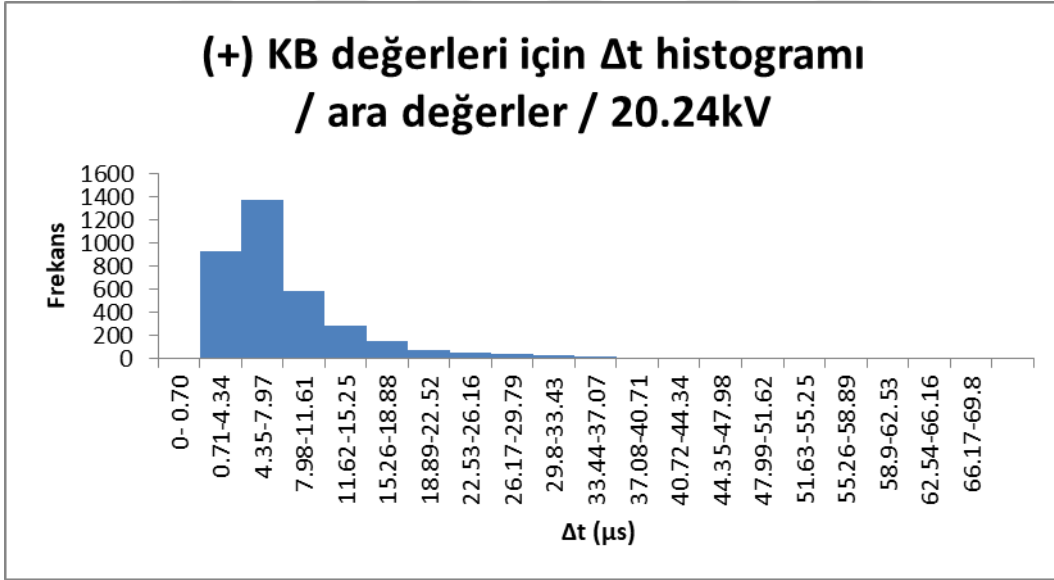
**Şekil A.25 :** 2 bar 20 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.



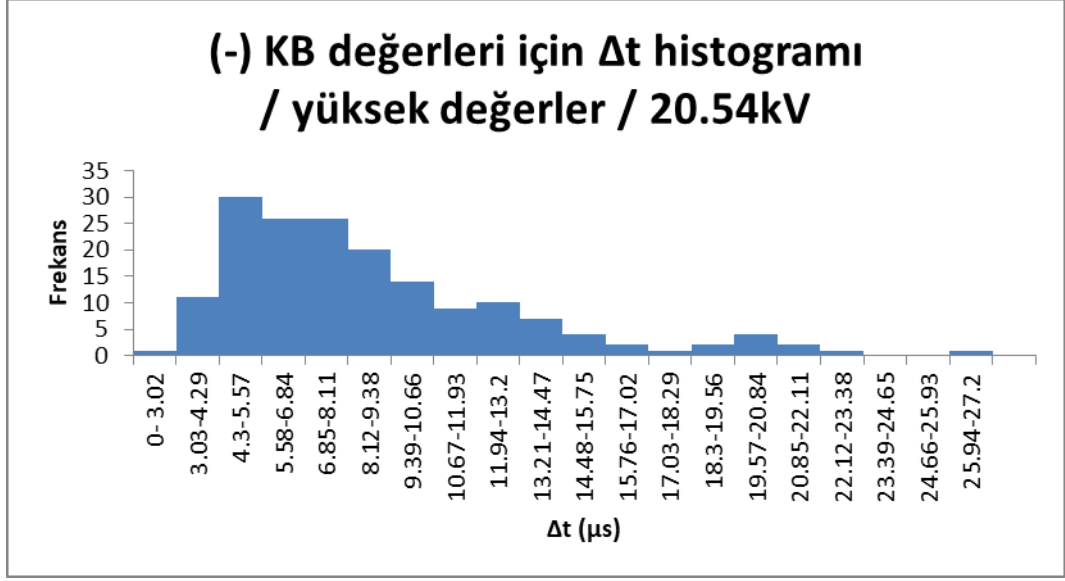
**Şekil A.26 :** 2 bar 20 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.



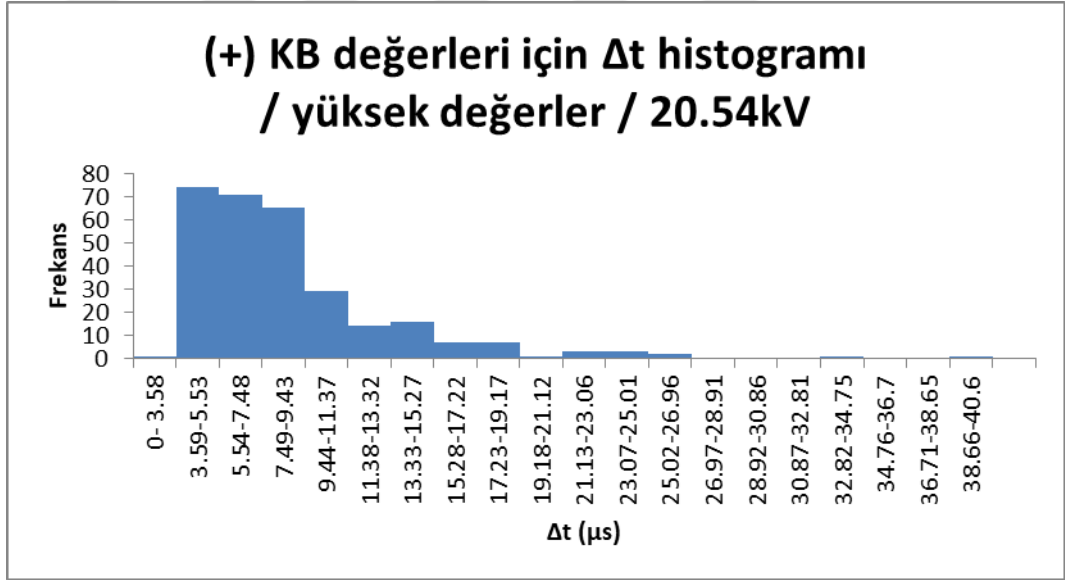
Şekil A.27 : 2 bar 20 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.



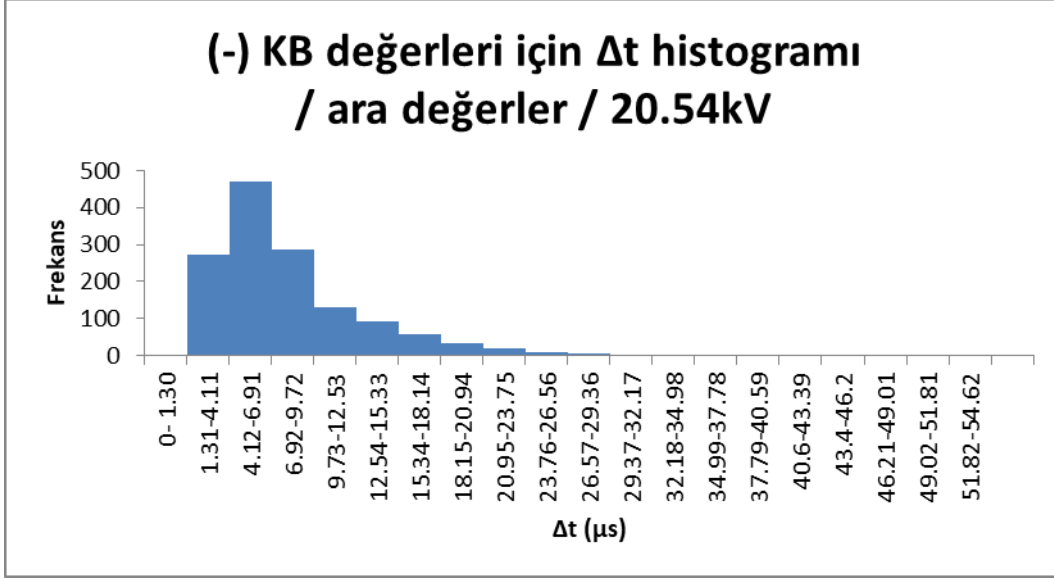
Şekil A.28 : 2 bar 20 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.



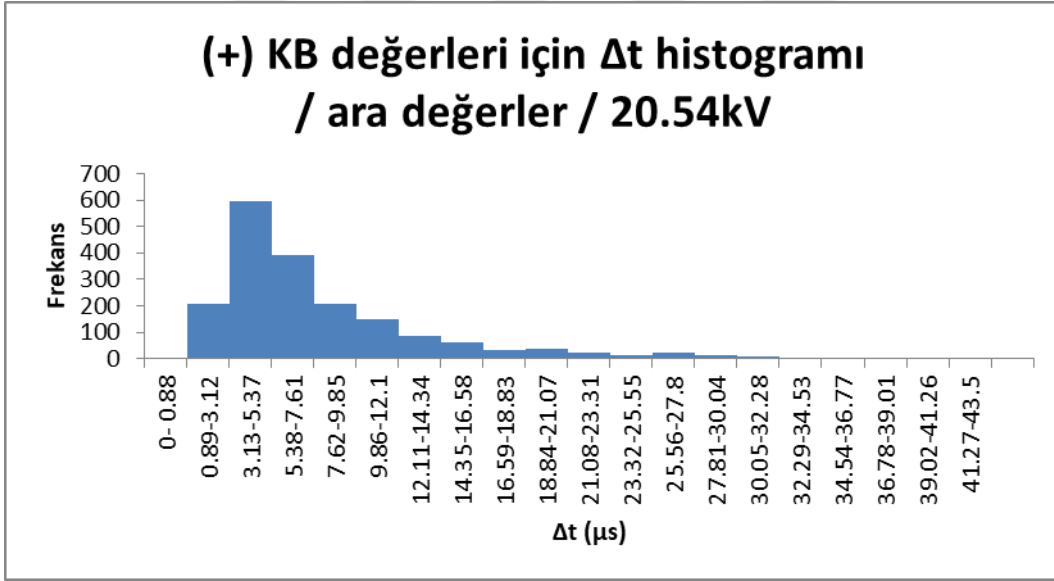
**Şekil A.29 :** 3 bar 20 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.



**Şekil A.30 :** 3 bar 20 kV' ta ölçülen, eşik değerinin üzerinde pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.



Şekil A.31 : 3 bar 20 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında negatif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.



Şekil A.32 : 3 bar 20 kV' ta ölçülen, eşik değerinin altında pozitif genliğe sahip KB sinyallerinin delta t histogramı.

## ÖZGEÇMİŞ

**Ad-Soyad** : Büşra Yıldız  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 04.04.1986  
**E-posta** : busrayldz@hotmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2009, Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik- Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği