

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜVENİLİRLİK TEST YÖNTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE TOPRAKLI  
PRİZLER İÇİN OPTİMUM TEST YÖNTEMİNİN TESPİTİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**BURAK ŞAL**

**Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Elektrik Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Aydoğan ÖZDEMİR**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜVENİLİRLİK TEST YÖNTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE TOPRAKLI  
PRİZLER İÇİN OPTİMUM TEST YÖNTEMİNİN TESPİTİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Burak ŞAL  
(504141008)**

**Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Elektrik Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Aydoğan ÖZDEMİR**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün ..... numaralı Yüksek Lisans / Doktora Öğrencisi Adı SOYADI, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "TEZ BAŞLIĞI" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Prof. Dr. Aydoğan ÖZDEMİR** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Prof. Dr. Adı SOYADI** .....  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. Adı SOYADI** .....  
Boğaziçi Üniversitesi

**Prof. Dr. Adı SOYADI** .....  
Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü

**Prof. Dr. Adı SOYADI** .....  
Şişli Etfal Eğitim ve Araştırma Hastanesi

**Prof. Dr. Adı SOYADI** .....  
Bilkent Üniversitesi

**Teslim Tarihi** : **17 Kasım 2017**  
**Savunma Tarihi** :





*Eşime, aileme ve tüylü Cücük'ümüze,*



## ÖNSÖZ

Bu çalışmanın ortaya çıkması ve hazırlanmasında, bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren, aynı zamanda yardımını hiç esirgemeyen saygıdeğer hocam Prof. Dr. Aydoğan Özdemir'e,

Bu konuya ilgi duymama sağlayan ve yaptığı katkılarla projemin daha da gelişmesine yardımcı olan sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Mustafa Altun'a,

En zor günlerimde beni yalnız bırakmayıp, en güzel anlarımı her zaman beraber yaşadığım, aldığım her kararda arkamda durup hırsıyla mücadele etmemi sağlayan yol göstericim, eşim Gizem Alkurt Şal'a,

Projemin ortaya çıkıp gelişme aşamasındaki zorlu yolculukta beni destekleyen, her zaman arkamda olan, dualarını benden esirgemeyen, mutluluğumu ve hüznümü rahatlıkla paylaşabileceğim tüm Schneider Electric çalışanlarına,

Özverili ve mutlu bir şekilde özgüvenli evlatlar yetiştiren anneme ve babama, kendinden başkalarını düşünmenin de bir erdem olduğunu bana öğreten kardeşime sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışma, her gün sözlü veya fiziksel tacize uğrayan, öldürülen, milyonlarca sıfat yakıştırılan ama "kadın" kavramının bir türlü yakıştırılmadığı güçlü kadınlara atfedilmiştir.

Aralık 2017  
ŞAL

Burak  
Elektrik Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>vii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>ix</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>SEMBOLLER</b> .....	<b>xiii</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	<b>xv</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>xvii</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>xix</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xxi</b>
<b>1. GİRİŞ</b> <b>1</b>	
1.1 Topraklı Prizlerin İç Yapısı .....	1
1.2 Topraklı Prizlerin Arıza Mekanizmaları .....	2
1.2.1 Yüksek ısı kaynaklı arızalar .....	3
1.2.2 Gerilim kaynaklı arızalar .....	3
1.2.3 Mekanik kaynaklı arızalar .....	4
1.3 Topraklı Priz Arızaları ile İlgili Saha Verileri .....	5
<b>2. HIZLANDIRILMIŞ TEST METODOLOJİLERİ</b> .....	<b>9</b>
2.1 Aşırı Hızlandırılmış Ömür Testi - HALT ( Highly Accelerated Life Testing) ..	9
2.2 Hızlandırılmış Ömür testi – ALT (Accelerated Life Testing).....	12
2.3 Kalibre Hızlandırılmış Ömür Testi – CALT (Calibrated Accelerated Life Testing).....	13
2.4 ALT ve CALT .....	15
<b>3. GÜVENİLİRLİK PARAMETRELERİ</b> .....	<b>17</b>
3.1 Hızlandırma Faktörü .....	17
3.1.1 Sıcaklık hızlandırma faktörü .....	17
3.1.2 Gerilim hızlandırma faktörü.....	19
3.1.3 Titreşim hızlandırma faktörü .....	21
3.2 Sınırlar Oranı, Güven Aralığı ve Güven Düzeyi.....	22
3.3 Doğruluk.....	25
<b>4. ALT – CALT KARŞILAŞTIRMA</b> .....	<b>27</b>
4.1 Sınırlar Oranı .....	27
4.2 Birim ve Toplam Test Zamanları .....	27
4.3 Arıza Oranı – MTTF İlişkisi .....	28
4.4 Parametrelerin Hesaplanması .....	28
4.4.1 ALT .....	28
4.4.2 CALT .....	32
4.4.3 Sonuçların karşılaştırılması.....	33
<b>5. SAHA VERİLERİNİN ALT-CALT ANALİZİ</b> .....	<b>41</b>
5.1 Güvenilirlik Parametrelerinin Hesabı.....	42
5.1.1 Hızlandırma faktörü .....	42
5.1.2 Arıza olasılık değerlerinin hesaplanması .....	42

5.1.2.1 Sıcaklık profilindeki arıza olasılık değerleri .....	43
5.1.2.2 Mekanik profildeki arıza olasılık değerleri .....	43
5.1.2.3 Gerilim profilindeki arıza olasılık değerleri .....	44
5.1.3 MTTF değerlerinin hesaplanması .....	44
5.2 ALT Analizi.....	45
5.2.1 Isıl zorlanma.....	45
5.2.2 Mekanik zorlanma.....	47
5.2.3 Gerilim zorlanması.....	48
5.3 CALT Analizi.....	50
5.3.1 Birim test zamanı ve toplam test zamanlarının hesaplanması.....	50
5.3.2 Profillerdeki doğruluklar .....	51
5.4 Sonuçların Karşılaştırılması .....	53
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>55</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>57</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>61</b>



## **KISALTMALAR**

<b>AF</b>	: Acceleration Factor
<b>ALT</b>	: Accelerated Life Testing
<b>BZ</b>	: Birim Zaman
<b>CALT</b>	: Calibrated Accelerated Life Testing
<b>CL</b>	: Confidence Level
<b>ÇS</b>	: Çalışma Süresi
<b>GS</b>	: Garanti Süresi
<b>HALT</b>	: Highly Accelerated Life Testing
<b>MTTF</b>	: Mean-time-to-failure
<b>PSD</b>	: Power Density Level
<b>SA</b>	: Sınırlar Aralığı
<b>SO</b>	: Sınırlar Oranı
<b>TZ</b>	: Toplam Zaman
<b>UPS</b>	: Uninterruptible Power Source



## SEMBOLLER

$E_a$	: Aktivasyon enerjisi
$eV$	: Elektronvolt
$k$	: Boltzmann sabiti
$P_1, P_2$	: Arıza olasılık değerleri
$RH_s, RH_0$	: Aşırı ve normal nem koşulları
$t$	: Zaman
$T_s, T_0$	: Aşırı ve normal sıcaklık koşulları
$V_s, V_0$	: Aşırı ve normal gerilim koşulları
$W_s, W_0$	: Aşırı ve normal mekanik koşullar
$X_{u,CL}$	: Belirlenen güven seviyesindeki üst sınır
$X_{L,CL}$	: Belirlenen güven seviyesindeki alt sınır
$\alpha$	: Güven aralığı dışındaki alan
$\beta$	: Weibull dağılımı şekil parametresi
$\eta$	: Weibull dağılımı ölçek parametresi
$\tau$	: Zorlanmaya göre belirlenen ömür
$\lambda$	: Arıza Oranı (failure rate)



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 1.1 : 2015 yılına ait topraklı priz arıza verileri .....	6
Çizelge 1.2 : 2014 yılına ait topraklı priz bozulma verileri .....	6
Çizelge 1.3 : 2013 yılına ait topraklı priz bozulma verileri .....	7
Çizelge 3.1 : Arıza türlerine göre aktivasyon enerjisi dağılımı .....	19
Çizelge 3.2 : Gerilim hızlandırma faktörü için $\beta$ değerleri.....	21
Çizelge 4.1 : %10 arıza oranı ile ALT-CALT karşılaştırılması.....	34
Çizelge 4.2 : %1 arıza oranı ile ALT-CALT karşılaştırılması.....	34
Çizelge 4.3 : %0,1 arıza oranı ile ALT-CALT karşılaştırılması.....	34
Çizelge 4.4 : %10 arıza oranı ile ALT-CALT karşılaştırılması.....	35
Çizelge 4.5 : %1 arıza oranı ile ALT-CALT karşılaştırılması.....	35
Çizelge 4.6 : %0,1 arıza oranı ile ALT-CALT karşılaştırılması.....	35
Çizelge 4.7 : %10 arıza oranı ile ALT-CALT karşılaştırılması.....	35
Çizelge 4.8 : %1 arıza oranı ile ALT-CALT karşılaştırılması.....	35
Çizelge 4.9 : %0,1 arıza oranı ile ALT-CALT karşılaştırılması.....	36
Çizelge 4.10 : 20 hızlandırma faktörü için ALT-CALT karşılaştırılması .....	38
Çizelge 4.11 : 30 hızlandırma faktörü için ALT-CALT karşılaştırılması .....	38
Çizelge 5.1 : Sıcaklık profilinde ALT-CALT karşılaştırılması .....	53
Çizelge 5.2 : Mekanik profilde ALT-CALT karşılaştırılması .....	53
Çizelge 5.3 : Gerilim profilinde ALT-CALT karşılaştırılması.....	53



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1 : Topraklı prizlerin iç yapısı .....	2
Şekil 1.2 : Elektrik anahtarları aksamaları.....	5
Şekil 1.3 : Kaynağına göre arıza yüzdelerinin yıllara göre dağılımı .....	7
Şekil 2.1 : Çevrim sayısı ve sıcaklık değişimi arasındaki ilişki .....	11
Şekil 2.2 : HALT yöntemi için iklimlendirme kabini .....	11
Şekil 2.3 : CALT yöntemi, ömür-zorlanma eğrisinin değişimi .....	14
Şekil 2.4 : CALT yönteminin diyagram gösterimi .....	15
Şekil 3.1 : Aktivasyon enerjisinin değişimi .....	18
Şekil 3.2 : Gerilim zorlanması için Eyring modellemesinin ömür-zorlanma eğrisi..	20
Şekil 3.3 : PSD test düzeyleri örneği .....	21
Şekil 3.4 : 2-Parametrelili Weibull Dağılımı için sınırlar oranı; ürün sayısı = 5 .....	24
Şekil 3.5 : 2-Parametrelili Weibull Dağılımı için sınırlar oranı; ürün sayısı = 40.....	24
Şekil 3.6 : $f(t)$ olasılık (arıza) yoğunluk fonksiyonu.....	25
Şekil 4.1 : Arıza Oranı/Zaman Weibull dağılımı.....	30
Şekil 4.2 : 2-parametrelili Weibull arıza yoğunluk fonksiyonu.....	31
Şekil 4.3 : Test planının oluşturulması .....	31
Şekil 4.4 : Test edilecek ürün sayısı hesabı .....	32
Şekil 4.5 : Toplam test zamanının arıza oranına göre değişimi.....	36
Şekil 4.6 : Toplam test zamanının arıza oranına göre değişimi.....	36
Şekil 4.7 : Toplam test zamanının arıza oranına göre değişimi.....	37
Şekil 4.8 : Hızlandırma faktörü değişiminin toplam zamana etkisi; arıza oranı= %10.39	
Şekil 4.9 : Hızlandırma faktörü değişiminin toplam zamana etkisi; arıza oranı= %1.39	
Şekil 4.10 : Hızlandırma faktörü değişiminin toplam zamana etkisi; arıza oranı= %0,1. ....	40
Şekil 5.1 : Isıl zorlanma için tavsiye edilen ALT planı .....	46
Şekil 5.2 : Isıl zorlanma için ürün sayısı hesabı .....	46
Şekil 5.3 : Mekanik zorlanma için tavsiye edilen ALT planı .....	47
Şekil 5.4 : Mekanik zorlanma için ürün sayısı hesabı .....	48
Şekil 5.5 : Gerilim zorlanması için tavsiye edilen ALT planı .....	49
Şekil 5.6 : Gerilim profili için ürün sayısı hesabı.....	49
Şekil 5.7 : Gerilim profili için CALT örnekleri.....	51
Şekil 5.8 : Sıcaklık profili için CALT örnekleri .....	52
Şekil 5.9 : Mekanik profil için CALT örnekleri .....	52



# GÜVENİLİRLİK TEST YÖNTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE TOPRAKLI PRİZLER İÇİN OPTİMUM TEST YÖNTEMİNİN TESPİTİ

## ÖZET

Günümüzde prizler, hayatın bir çok alanında elektrik enerjisini doğru yönlendirmek ve yararlanmak amacıyla kullanılan elektrik devre elemanlarıdır. Ülkemizde anma şebeke gerilimi 220 Volt olduğundan, prizler bu gerilimde değerinde çalışırlar ve topraklı, topraksız ve kesintisiz güç kaynaklı (UPS) prizler olmak üzere üçe ayrılırlar. Yapı olarak, topraksız prizlerle karşılaştırıldığında, topraklı prizlerde, insan hayatını tehlikeye sokacak olan kaçak akımların toprağa akıtılmasını sağlayan bağlantı bulunmaktadır. UPS prizler ise, istenmeyen kesintileri ve öngörülen toleransın ötesinde yüksek ve düşük gerilimleri engelleyen priz tipidir. Topraklı prizler, hem yaygınlık hem de kullanım yerleri açısından toplumun büyük bir kesiminin yakından tanıdığı priz tipleridir ve bu çalışmada bu prizlere odaklanılmıştır.

Birinci bölümde, topraklı prizlerin iç yapıları ve arıza mekanizmaları incelenmiştir. Topraklı prizlerde oluşan arızalar, yüksek ısı kaynaklı, gerilim kaynaklı ve mekanik kaynaklı şeklinde sınıflandırılmış ve bu sınıflandırmaya uygun arıza mekanizmaları incelenmiştir. Daha sonra uluslararası bir topraklı priz üreticisinin, belirli yıllara ait saha verileri dikkate alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. Saha verilerinde gözlemlenen arızalar, yapılan temel topraklı priz arıza sınıfları ile eşleştirilmiş ve her bir arıza türüne göre arıza oranları hesaplanmıştır.

İkinci bölümde ise hızlandırılmış test yöntemleri incelenmiştir. Buna göre, öncelikle arıza hızlarının sınır değerlerinin belirlenmesini sağlayan ve böylelikle üretim ve arge gibi yüksek giderli yatırımları azaltabilen HALT (Highly Accelerated Life Testing) test yöntemi tanıtılmıştır. Sonrasında, arıza oranlarının ve dolayısıyla güvenilirliğin kestirimini sağlayan ALT (Accelerated Life Testing) ve CALT (Calibrated Accelerated Life Testing) yöntemleri ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde, hızlandırılmış test yöntemleri ve güvenilirlik hesabı için kullanılan parametreler incelenmiştir. Bu parametrelerden, hızlandırma faktörü; sıcaklık, gerilim, ve mekanik (titreşim) arıza sınıflamaları kapsamında incelenmiştir. Her bir temel arıza sınıflaması için, literatürde bulunan hesaplamalar kullanılarak, hızlandırma faktörünün farklı koşullarda belirlenmesi sağlanmıştır. Güvenilirliğin kestirimi için gerekli olan sınırlar oranı, güven aralığı, güven düzeyi ve doğruluk gibi bazı istatistiksel parametreler, temel örneklerle açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde ise, üçüncü bölümde anlatılan iki farklı hızlandırılmış test yönteminin güvenilirlik parametreleri, farklı koşullarda hesaplanılarak birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Hesaplamalar sonrasında gelen sonuçlar ile ALT yönteminde kullanılacak ürün sayısı hesaplanmıştır. CALT yönteminde ise literatürde bulunan, daha önceki çalışmalarda belirlenen ürün sayısı kullanılmıştır. Son olarak, her iki test yönteminde, belirlenen ürün sayılarından sonra, test içerisinde kullanılacak ürün sayısı

ile ilişkili olarak, birim ve toplam test zamanları ve bunların doğruluk oranları da hesaplanarak birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Parametrelerin tamamlanmasından sonra her iki test yöntemi için, hızlandırma faktörü, arızaya kadar geçen ortalama süre; MTTF, sınırlar oranı ve gözlem süresi değerleri girdi olarak kabul edilmiş, çıktı olarak ise toplam test ürünü sayısı, birim test süresi, toplam test süresi ve bu büyüklüklerin hesabındaki doğruluk parametresi alınmıştır. Bu ıktılar, tüm elektrik ve elektronik cihazların olası arıza oranı aralığı içerisinde, %10, %1 ve %0,1 şeklinde üç örnek değer için, her üç temel arıza profilinde bazı girdi değerleri değiştirilerek karşılaştırılmıştır. Son olarak farklı örnekler kullanılarak, hangi test yönteminin, hangi koşullarda daha verimli olduğu belirlenmiştir.

5. bölümde ise, 1. bölümde yer alan saha verileri kullanılarak, 4. Bölümde optimum aralıkları belirlenmiş test yöntemlerinin, değişik zorlanmalara göre profilleri oluşturulmuş ve topraklı prizler için en verimli sonucu veren bir test yöntem kombinasyonu hazırlanmıştır. Bu sonuç, analitik örneklerle desteklenerek verilmiştir.



# **INVESTIGATION OF RELIABILITY TEST METHODOLOGIES AND DETERMINATION OF OPTIMUM RELIABILITY TEST METHOD FOR SOCKET-OUTLET WITH EARTH**

## **SUMMARY**

Socket-outlets with side-earth are the most common device that the any end-users can easily use to supply the electrical energy at their homes, offices, etc. This device can be chosen by its usage areas or aesthetic purposes. Furthermore, rated voltages and the types of socket-outlets can be different for different countries. For instance, in Turkey, socket-outlets are plugged to 220 V rated system voltage. Generally, all the socket-outlets connected to Turkish low voltage power supply system operates at a voltage level of 220 V.

On the other hand, socket-outlets used all around the world are generally classified into three main types; namely, socket-outlet without earth, socket-outlet with earth and socket-outlet with pin earth also known as French type. Although socket-outlets without earth are cheaper than the others, socket-outlets with earth, have a system that can block the current that can danger human life. UPS socket-outlets may prevent decrease or increase of the voltage due to electricity failures. Socket-outlets with side earth have the most common usage area than the other types. Therefore, this thesis will concentrate on socket-outlets with side earth devices.

In the first section of the thesis, the structure of socket-outlet with earth will be introduced and their failure mechanisms will be classified according to field experinece. This classification is based on three different failure types as arc related failure mechanisms, high temperature related failure mechanisms, voltage related failure mechanisms and mechanic (mainly vibration) related failure mechanisms. After the explanation of the fundamental failure mechanisms of socket-outlet with earth, field data of an international socket-outlet manufacturer will be illustrated. Failures will be classified into three basic failure types that are mentioned above. It is important for this data that have to contain a different time gaps for different failure types. Although field data includes maximum two years period of observations (warranty time for a socket-outlets of this manufacturer is two years), every year's field data have six months, a year, two years period observation gaps and they are all classified according to three failure mechanisms. Field data is enough to calculate the failure rates for each failure mechanism as well as to predict other reliability indices and parameters. As a result, failure rates will be calculated for each failure mechanism. Moreover, to validate the calculations, some of the regional habits will be explained.

The second section of the thessis is devoted to accelerated life tests of the units. Explanations and informations are illustrated for Highly Accelerated Life Testing method ( HALT), which is used for reducing the cost of production as well as the cost of research and development investments due to its capability of finding the limit charachteristics of a given product. Furthermore, basics of Accelerated Life Testing, ALT, method and Calibrated Accelerated Life Testing, CALT, method will

be introduced. All the procedure of the two test methods will be explained. ALT method's test mechanism will then be compared with of the HALT method's and their application areas will be identified. Six sample need of CALT method will be explained. Three test points of the method will be introduced where the first test point (first level) is taken as 10-15% below the limit stress of the product, the second one is selected 10-15% below the first level and third one generally 10-15% below the second level. In summary, all test methodologies used for the life tests as well as for estimation of several reliability parameters are explained in this section. Therefore, the difference between quantitative and qualitative test methodologies are explained and their usage are limited with certain parameters.

In the third section, the parameters of the accelerated life test methods as well as probabilistic parameters to state the accuracy of the methods are illustrated. Acceleration factors and models used for several stress parameters such as temperature, voltage, and vibration will be introduced. In this context, Arrhenius model for temperature acceleration factor and other calculations besides model itself are explained. Bounds ratio, confidence interval and confidence level terms will be explained using simple marble example and supported by other studies in the literature. Furthermore, the method used in this thesis for accuracy evaluation will be explained. Accuracy calculation is associated with the bounds ratio since upper and lower bound has to be determined to have the accuracy. Upper and lower bound determination can change regarding the manufacturer's requests and also this can change accuracy and other calculations. Similarly, other statistical parameters that are used in the calculations will be introduced.

Section four includes comparisons of ALT and CALT methods using their fundamental parameters. At first, the bounds ratio will be identified for both test methods and the usage of a MATLAB code "wblrnd" related to bounds ratio for accuracy calculations will be introduced. Unit test and total test times of the both test methodologies will be explained with the underlying clarification of CALT method's sample size as six. Finally, clarification is done to state the relationship between the failure rate and the mean-time-to-failure, MTTF. Regarding the results, either parameter can be chosen as input to determine another.

After the explanation of the parameters used in the comparison; acceleration factor, mean-time-to-failure, bounds ratio and warranty time will be accepted as the inputs of the computation process of the other parameters which are assumed to be the outputs for the comparison of the methods. These output parameters are sample size, unit test and total test time and also accuracy. These outputs are then compared for the prospective failure rate of electrical or electronic products. This range is represented by three prospective failure rates of 10%, 1% and 0,1%. With the help of analytical examples, optimum range for these test methodologies are identified. These optimum ranges for both test methodologies contain, sample size, unit and total test time as well as accuracy.

The fifth section of the thesis includes the numerical results obtained for a socket-outlets with side-earth manufactured by an international company. Field data during which was given in the first section is used together with the optimum test ranges identified in section four. Since every failure mechanism has its own stress calculations and special lifetime model, individual calculations are performed for each stress. For this calculations, especially for different stress types, different acceleration models have been applied. Since, CALT uses six samples, depending on

mean-time-to-failure, despite the fact that, CALT is superior to ALT, accuracy calculations show ALT is really competitive. Moreover, two test methodologies have been applied for the field data to validate the results obtained in section four. Finally, optimum test methodology is identified for every stress level.

Finally, section six summarizes the conclusions of the study and also give advice for mathematical model to those who will initiate another optimization for some another product.





## 1. GİRİŞ

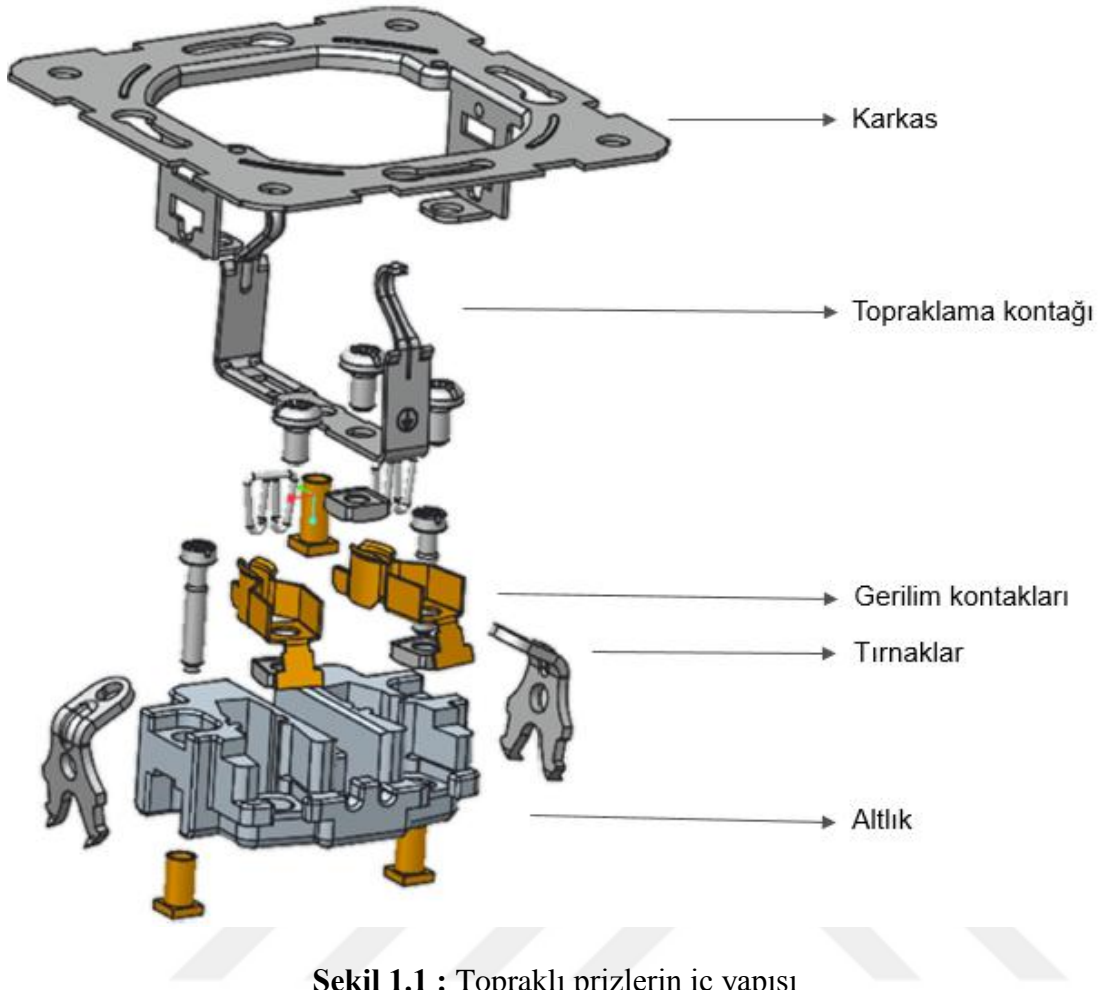
Günümüzde prizler, hayatın bir çok alanında elektrik enerjisini doğru yönlendirmek ve yararlanmak amacıyla kullanılan elektrik devre elemanlarıdır. Ülkemizdeki anma alçak gerilim şebeke gerilimi 220 Volt olduğundan, prizler bu gerilim düzeyi için tasarlanırlar ve topraklı, topraksız ve UPS tipleri olmak üzere üçe ayrılırlar. Yapı olarak, topraksız prizlerle karşılaştırıldığında, topraklı prizlerde, insan hayatını tehlikeye sokacak olan kaçak akımların toprağa akıtılmasını sağlayan bağlantı bulunmaktadır. UPS prizler ise, istenmeyen kesintileri ve öngörülen tolerans ötesindeki yüksek ve düşük gerilimleri engelleyen priz tipidir.

Topraklı prizler ülkemizde ve dünyada en yaygın kullanıma sahip priz türüdür. Kolay bulunabilmesi ve karşılanabilir fiyatlara temin edinilebilmesinin yanı sıra, insan hayatını tehlikeye sokacak artık akımların da topraklanmasını sağladığından, çoğu zaman tercih edilen bir priz tipidir.

Bu bakımdan, topraklı prizlerin uzun ömürlü ve güvenilir olması önemlidir. Bu çalışmada, uluslararası bir firmanın topraklı priz arıza verileri ve hızlandırılmış test yöntemleri incelenerek; topraklı priz güvenilirliğinin tahmini için optimum test yöntemi belirlenmiştir.

### 1.1 Topraklı Prizlerin İç Yapısı

Topraklı prizlerin yapılarında elektriksel olarak, iletkenlerin bağlantısını sağlayan kontaklar ve kaçak akımın toprağa akıtılmasını sağlayan topraklama kontağı; mekanik olarak da, duvarda sağlam bir şekilde yerleşimini sağlayan karkas, tırnaklar ve altlık gibi elemanlardan oluşur (Akbulut, 2014). Şekil 1.1’de tüm bu parçaların görülebileceği bir topraklı priz yapısı gösterilmiştir.



Şekil 1.1 : Topraklı prizlerin iç yapısı

Topraklamanın sağlanması için, prizde bulunan topraklama iletkeninin yanı sıra, binanın da bir topraklama sisteminin bulunması gerekmektedir. Bina topraklaması için en yaygın kullanılan elektrot türleri; çubuk elektrodlar, lehva elektrodlar ve topraklama ağlarıdır (Beltz, 2000).

Buna ek olarak, bazı topraklı prizlerde, çocukların kontaklardan birine iletken bir cisim sokma riski dikkate alınarak, çocuk koruması denilen ve tek bir kontakta cisim sokulduğunda prizin çalışmamasını sağlayan mekanik bir düzenek de bulunmaktadır. Ancak bu çalışmada, kullanımı daha yaygın olan çocuk korumasız topraklı prizler dikkate alınacaktır.

## 1.2 Topraklı Prizlerin Arıza Mekanizmaları

Topraklı prizlerde, kullanıma veya kurulumu bağlı bazı arızalar yaşanabilmektedir. Bu arızalardan mekanik kaynaklı olanlar genellikle ürünün çalışmasına bir engel

teşkil etmezken, elektriksel kaynaklı arızalar ürünün çalışmasını (enerji sağlama işlevi) bozabilmektedir. Bu bozulmaların ürüne zarar vermesinin ve çalışmaz hale getirmesinin yanı sıra, yangın çıkarma, ve can veya mal kaybına neden olabilme olasılığı da vardır.

Topraklı priz arızaları genelde, yüksek ısı kaynaklı arızalar, gerilim kaynaklı arızalar ve mekanik kaynaklı arızalar olarak üç ana grupta değerlendirilmektedir. Yüksek ısı kaynaklı arızalar çoğu kez elektrik ve mekanik nedenlerden oluşsa da, arızanın gelişimi açısından farklı bir sınıf olarak ele alınmasında yarar vardır.

### **1.2.1 Yüksek ısı kaynaklı arızalar**

Topraklı priz devresinde omik bir yük bulunması durumunda (ohmik yük besleme), söz konusu yükün zaman zaman fazla akım çekmesi sonucu, prizde zamanla arıza oluşabilmektedir. Bu arızalara neden olan yüksek ısınmanın kaynağı, aşırı yük, yüksek ısı yalıtım, topraklama hataları ve bundan kaynaklı kaçak akımlar, aşırı gerilim veya zayıf bağlantılardır (Yamamoto, 1997).

Elektrik İç Tesisat Yönetmeliği uyarınca, kaçak (artık) akım koruma rölesi ülkemizde kullanılması zorunlu bir elektrik devre elemanıdır. Ancak bu duruma, yönetmeliğin çıktığı tarihten sonraki yapılarda dikkat edilirken, daha önce yapılan binaların çoğunda bu düzen yoktur veya sonradan takılmamıştır. Böylece, sürekli olarak yukarıda belirtilen durumlardan bir veya birkaçına maruz kalan topraklı priz yalıtımı, zamanla özelliğini yitirmekte ve sıcaklığı artarak yüksek kaçak akımlara neden olmaktadır. Böylece, topraklı priz çektığı aşırı akımdan dolayı, sıcaklık artmakta ve zamanla ısı kaynaklı arızalara yol açmaktadır. Hatta topraklı priz arızasının ötesinde, bu durum, yangına ve dolayısıyla da can ve mal kaybına neden olabilmektedir.

### **1.2.2 Gerilim kaynaklı arızalar**

Elektrik dağıtım şebekelerinin radyal yapısı nedeniyle, son kullanıcı açısından arz güvenilirliği ve gerilim kalitesi, enerji merkezine yakın kullanıcılara göre daha kötüdür. Burada, arz güvenilirliğinden kasıt, sayısal ve zaman açısından elektrik enerji kesintisine maruz kalınmama (daha az maruz kalınma); gerilim kalitesinden kasıt ise, gerilim genliği ve frekansının anma değerlere yakınlığı kastedilmektedir. Ancak, kaynak noktalarına olan yakınlık, yüksek güvenilirliğinin ve gerilim

kalitesinin tek etkeni değildir. Konuma ek olarak, kablo/hat kesiti ve bir bütün olarak tüketiciyi uzanan enerji yolunda kullanılan donanımların kalitesi de önemlidir. Örneğin, uygun kesitlerde kablo kullanımı ile, gerilim düşümünün öngörülen sınırların üzerine çıkmaması sağlanır ki bu da gerilim kalitesi açısından önemli bir parametredir (Gürlek, 2007).

Gerilim düşümünün yaşandığı yerlerde de, süreye bağlı olarak, tekrar çalışmada, yüksek akım çekilebilir. Söz konusu yüksek akımlar, besleme devresindeki diğer elemanlara olduğu gibi, topraklı prizlere ve hatta topraklı prizden geçerek oraya bağlı olan tüm cihazlara geri dönülemez zararlar verebilir. Gerilim düşümü, hattın çalışma koşulları ile ilgili olduğundan; dengesiz hatlar (belirli dönemlerde aşırı yüklenen hatlar) ve tabii ki planlama dışı kaçak hatların varlığı, bu gibi problemlerin yaşanmasındaki en önemli etkenlerdendir.

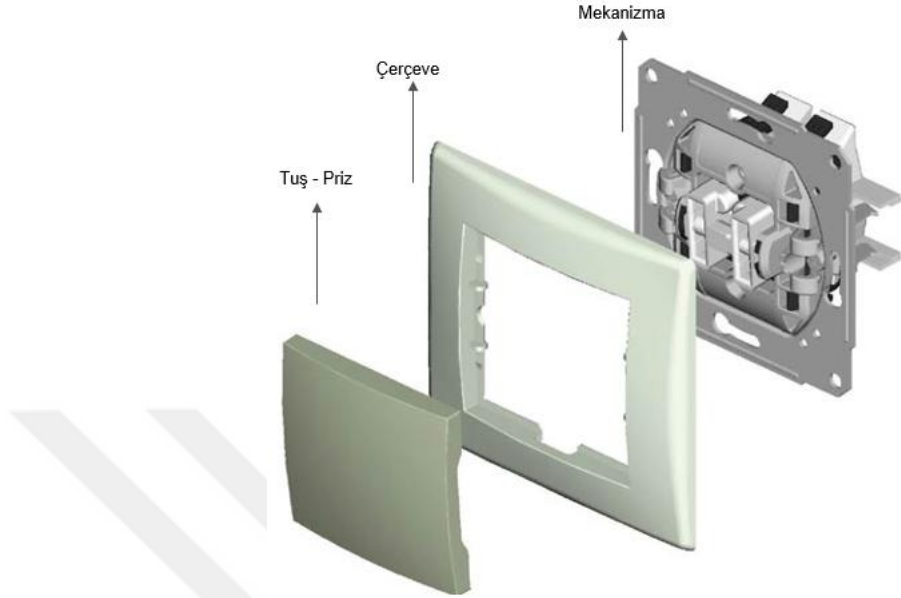
Daha önce belirtildiği üzere, arktan (kötü kontak sonucu oluşan boşalmalar) veya priz yalıtkanının ısınmasından dolayı meydana gelen arızaları, bu başlıktan ziyade, bir önceki başlıkta verilen yüksek ısı kaynaklı arızalar başlığı altında değerlendireceğiz. Bu başlık altında, yanlış tasarım veya daha çok ülkemizin özellikle Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerindeki kaçak elektrik kullanımı sonucu düşen gerilim değerlerine bağlı arızaları inceleyeceğiz.

### **1.2.3 Mekanik kaynaklı arızalar**

Burada bahsedilen mekanik kaynaklı arızalardan kasıt, mekanik olarak zayıf veya yanlış bağlantı yapılması değildir. Mekanik olarak zayıf bağlantı artık akıma neden olmaktadır ve bu urum daha sonra devreye ısı olarak döndüğü için topraklı prize zarar vermektedir. Benzer şekilde, topraklı prizden içerisine erişebilecek toz veya zerrecikler de artık akım kaynaklı ısı oluştururlar (Kinoshita, 1978). Bu tür arızalar, yukarıda özetlenen yüksek ısı kaynaklı arızalar sınıfında değerlendirilirler.

Bu başlık altında incelenecek olan arızalar, dış darbelerden dolayı topraklı prizden işlevini kaybetmesi durumlarıdır. Endüstriyel alanlarda, dayanıklı olmaları açısından her ne kadar kauçuk fiş-prizler kullanılıyor olsa da, şehirlerde bu tür prizlerin kullanılması hem etkinlik, hem de estetik açısından pek tercih edilen durum değildir. Bu tür arızalar açısından, Şekil 1.2'de gösterilen anahtar tuşunun, priz mekanizmasının ve çerçevenin, priz tabanına sağlıklı bir şekilde oturması çok önemlidir. Ayrıca, uygun (kaliteli) topraklı priz malzemesi seçimi de yapılacak

olursa, hem priz mekanik dayanımı artacak, hem de diğ er bazı sorunların önüne geçilmektedir.



Şekil 1.2 : Elektrik anahtarı aksamaları

Şekil 1.3 :

### 1.3 Topraklı Priz Arızaları ile İlgili Saha Verileri

Türkiye'nin her ilinde, uluslararası üretici bir firmanın kalite bölümü, elektrik enerjisini sağlamak amacıyla kullanılan topraklı prizleri, satış sonrasında belirli bir süre izleyerek, arızaları ile ilgili veri kayıtları tutmuştur. Bu kayıtlar, arızaların oluştuğu süreleri ve arıza türünü de içermektedir. Arıza türleri olarak da, yukarıda sözü edilen üç ana arıza türü esas alınmış, bunların dışındakiler “diğ er arızalar” olarak sınıflanmışlardır. Garanti süresi (iki yıl) boyunca izlenen ürünlere ilişkin, 2013-2015 yılları için bölgesel arıza verileri ve arıza türleri Çizelge 1.1, Çizelge 1.2 ve Çizelge 1.3'te verilmiştir.

Çizelge 1.1'te 2015 yılına ait topraklı priz arıza verileri verilmiştir. Her bir veri için arıza türü için arıza oranı (hızı) hesapları daha sonra güvenilirlik analizlerinde kullanılacaktır. Bu verilere göre,; satılan ve izlenen 825.126 adet üründen toplamda 44.784 adedi (%5.43), garanti süresi içinde bozulmuştur. Bozulan ürünlerden %58,76'sı gerilim kaynaklı arızalardan, %24,61'i ısı kaynaklı arızalardan, %10,37'si

mekanik dayanıma bağlı hatalardan ve kalan %6,27'si ise nedeni belirlenemeyen diğer hatalardan meydana gelmiştir.

**Çizelge 1.1 : 2015 yılına ait topraklı priz arıza verileri**

Bölgeler	İşletmedeki Ürün Sayısı	Gerilim Kaynaklı Arıza Sayısı	Yüksek Isı Kaynaklı Arıza sayısı	Mekanik Kaynaklı Arıza sayısı	Diğer arıza sayısı
Akdeniz	107.309	4.168	1.920	770	463
Doğu Anadolu	62.584	3.593	1.596	530	479
Ege Bölgesi	108.175	2.959	1.169	517	266
Güneydoğu	89.668	2.412	907	376	209
İç Anadolu	134.156	3.358	1.353	584	381
Karadeniz	81.918	3.103	1.390	454	417
Marmara	241.316	6.083	3.404	1.313	593
Toplam	825.126	25.676	11.739	4.544	2.808

Çizelge 1.2'ye bakıldığında ise 2014 yılı için, 761.770 adet satılan üründen, 42.575 adedi (%5.06), garanti süresi içinde çeşitli nedenlerden bozulmuştur. Bunlardan; %54,70'i gerilim kaynaklı arızalardan, %23,76'sı ısı kaynaklı arızalardan, %8,44'ü mekanik dayanıma bağlı arızalardan ve %13,20'si ise nedeni belirlenemeyen diğer arızalardan bozulmuştur.

**Çizelge 1.2 : 2014 yılına ait topraklı priz bozulma verileri**

Bölgeler	İşletmedeki Ürün Sayısı	Gerilim Kaynaklı Arıza Sayısı	Yüksek Isı Kaynaklı Arıza sayısı	Mekanik Kaynaklı Arıza sayısı	Diğer arıza sayısı
Akdeniz	96.649	3.533	1.658	509	561
Doğu Anadolu	55.139	3.295	1.479	474	554
Ege Bölgesi	99.141	2.687	1.016	456	898
Güneydoğu	80.283	1.987	774	314	654
İç Anadolu	120.950	2.777	1.166	508	955
Karadeniz	73.579	3.071	1.450	492	348
Marmara	236.029	5.938	2.529	840	1.652
Toplam	761.770	23.288	10.072	3.593	5.622

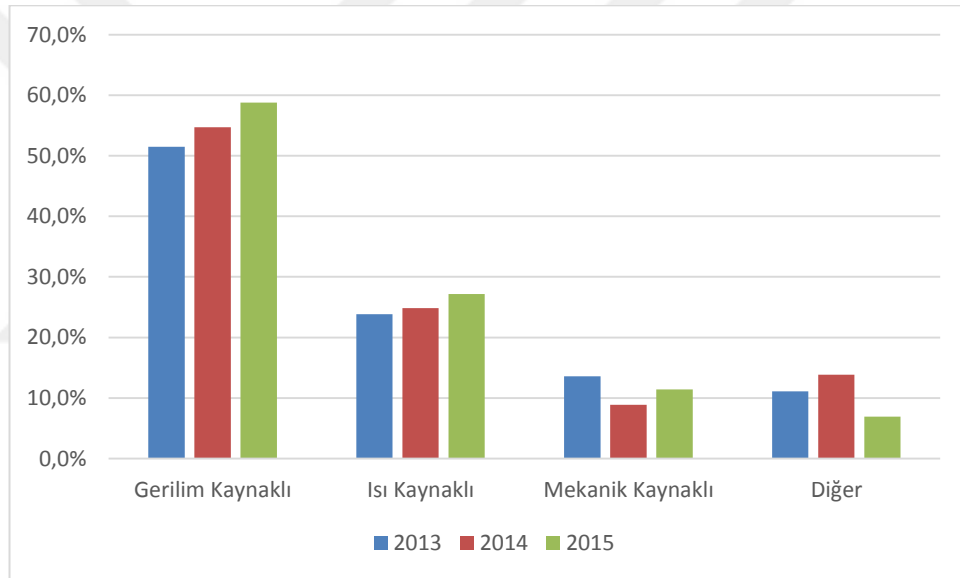
**Şekil 1.4 :**

Son olarak Çizelge 1.3'te verileri gösterilen 2013 yılına ait satılan 617.312 adet üründen, 40.562 adedi (%4.82) bozulmuştur. Bu bozulma oranlarına göre; bozulan ürünlerin, %51,46'sı gerilim kaynaklı arızalardan, %23,84'ü ısı kaynaklı arızalardan, %13,60'ı mekanik dayanıma bağlı arızalardan ve geri kalan %11,09'u ise belirlenemeyen diğer nedenlerden bozulmuştur.

Bu durumda, arıza paylarının yüzdesel dağılımı, yıllar bazında Şekil 1.3'te gösterilmiştir.

**Çizelge 1.3 : 2013 yılına ait topraklı priz bozulma verileri**

İller	İşletmedeki Ürün Sayısı	Gerilim Kaynaklı Arıza Sayısı	Yüksek Isı Kaynaklı Arıza sayısı	Mekanik Kaynaklı Arıza sayısı	Diğer arıza sayısı
Akdeniz	70.155	2.609	1.554	779	555
Doğu Anadolu	44.798	2.763	1.566	715	447
Ege	88.344	2.538	868	648	1.029
Güneydoğu	62.127	1.839	720	647	529
İç Anadolu	97.072	2.776	1.159	745	807
Karadeniz	64.453	2.927	1.510	680	249
Marmara	190.363	5.422	2.295	1302	884
Toplam	617.312	20.874	9.672	5.516	4.500



**Şekil 1.5 : Kaynağına göre arıza yüzdelerinin yıllara göre dağılımı**

Şekil 1.3'ten de görüldüğü üzere satılan ve sonrasında izlenen ürünlerle ilgili arıza oranlarının yıllara göre dağılımı tutarlı bir grafik sergilemiştir. Bununla birlikte, her yıl için, arızalanan ürünler toplam satılan ürünlerin 2013, 2014 ve 2015 yılları için sırasıyla %5,32, %5,06 ve %4,82'sine geldiği hesaplanmıştır. 2013 yılı bu ürünün piyasaya sürülme tarihi olduğundan, üretim kaynaklı hataların toplam bozulmaya etkisi çıkarıldığında, üç yıla ait topraklı priz bozulma oranının %5,3 olarak belirtilmesi daha gerçekçi olacaktır.

Aynı zamanda, tahmin edildiği üzere, bölgeler bazında bakıldığında, özellikle gerilim düşümünden kaynaklanan sorunların Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde,

ıııdan kaynaklı sorunların ise daha çok nemli bölgeler olan, Karadeniz ve Akdeniz Bölgesi'nde, diğer bölgelere nazaran daha yaygın olarak grldği gözlemlenmiştir.



## **2. HIZLANDIRILMIŞ TEST METODOLOJİLERİ**

Günümüzde, cihazların dayanımı göz önüne alındığında, normal çalışma koşulları altında bir cihazın ömrünü ölçmek ve/veya arıza oranını belirlemek kolay bir süreç değildir. Cihazların ömrünü ve arıza oranlarını kestirebilmek için, olasılık ve istatistik verileri, matematiksel formüllerle ve çeşitli dağılımlarla harmanlayan, hızlandırılmış test yöntemleri geliştirilmiştir.

Hızlandırılmış testlerde, örnek cihazlara, normal işletme koşullarına göre daha ağır zorlanma koşulları uygulanır. Cihazlar, daha yüksek sıcaklık, yüksek basınç, yüksek elektrik alan şiddeti vb ağır koşullar altında çalıştırılıp, daha kısa bir sürede arıza yapmaya zorlanırlar. Bu ağır çalışma koşulları altında belirlenen ömür ve/veya arıza oranları kullanılarak ve zorlanma-ömür arasındaki istatistiki ilişki dikkate alınarak, normal çalışma koşullarındaki ömür ve/veya arıza oranları kestirilir. Bu amaçla geliştirilmiş bazı hızlandırılmış test yöntemleri, cihazın dayanabileceği maksimum koşulların belirlenmesi için kullanılırken; diğer bazı yöntemler ise, maksimum zorlanma koşullarını dikkate alarak, cihazın arıza oranı ve/veya işletme ömrü ile ilgili kestirimlerin yapılmasını sağlar.

Bu bölümde cihazın farklı zorlanma koşullarında, maksimum dayanım değerlerini ölçmeye yarayan HALT (Highly Accelerated Life Testing) ile bu dayanım değerlerinin belirli oranda altına inerek deney yapılacak ürün sayısını ve zamanını belirleyen ALT (Accelerated Life Testing) ile CALT (Calibrated Accelerated Life Testing) mekanizmaları incelenerek, matematiksel olarak karşılaştırılacak ve hangi durumda hangi test yönteminin optimum olduğu araştırılacaktır.

### **2.1 Aşırı Hızlandırılmış Ömür Testi - HALT ( Highly Accelerated Life Testing)**

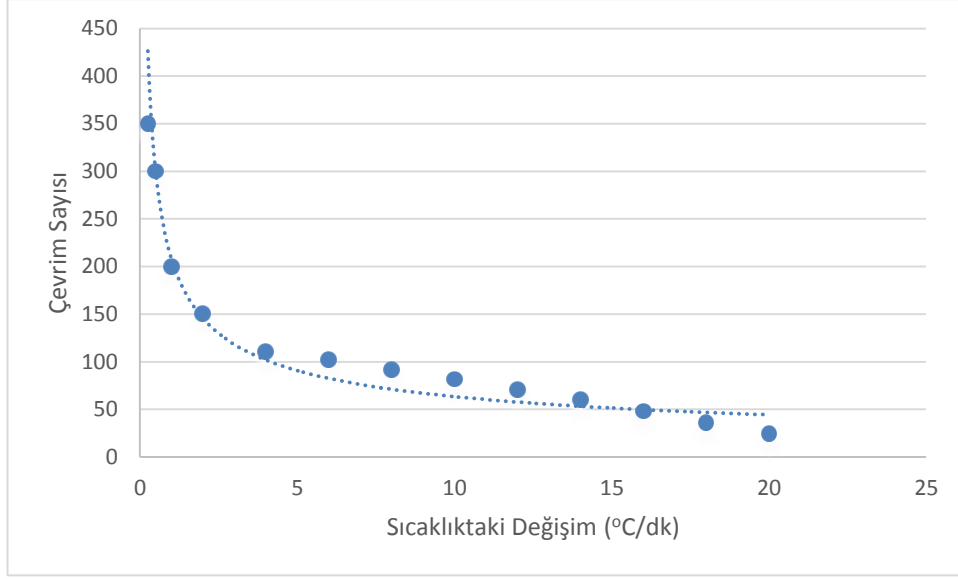
Çoğu cihaz için, ömür eğrisini (karakteristiğini) belirlemek amacıyla, normal işletme koşullarına bölgesinde çeşitli dayanım değerlerinde ölçüm yaparak sağlıklı bir sonuca varmak, çok zahmetli ve uzun süren bir işlemdir. Aşırı hızlandırılmış ömür testi, HALT, çalışma koşullarını belirli oranda yoğunlaştırarak, belirli zorlanma koşullarının ( sıcaklık, basınç, elektrik alan şiddeti vb) üst sınır değerlerinin

belirlenmesi amacıyla kullanılır. Bu test, elektronik, bilgisayar, sağlık ve askeri endüstrilerde, ürün güvenilirliğini yükseltmek amacıyla da kullanılmaktadır.

HALT, bir ürünün tasarımından kullanımına dek geçen sürecin çeşitli aşamalarında gerçekleştirilebilmektedir. Henüz daha yapılacak harcamaların daha az olduğu sürecin başında yapılan HALT, tasarım hatalarının veya yüksek toleranslı hataların belirlenmesini sağlar. Bu zayıflıkların görülmesiyle, HALT, ürün geliştirme zamanını ve dolayısıyla da ürünün pazara çıkış zamanını kısaltabilir. HALT, cihazın pazara tanıtımı sırasında yapılırsa, yeni üretim sistemi ile ilgili hataları ortaya çıkarabilir (Kececioğlu, 1997). Bununla birlikte, satış sonrasında yapıldığında da, parçalardaki değişikliklerden, üretim sisteminden veya tedarikçiden kaynaklı hatalar ile cihazın güvenilirliği ile ilgili tahmin yürütülmesini sağlar.

HALT, ilgili cihazı bozana kadar test edilme yöntemidir. Dolayısıyla bir bozulma görülene kadar (yüksek) zorlanma devam eder. Ancak, HALT, cihazla ilgili bir güvenilirlik değeri veya bozulma olasılığı vermez. Bununla ilgili, çoğu hızlandırma testi, ürün testten geçene kadar uyguladığından, ürün ömrü veya güvenilirliği ile ilişkilendirilebilir. Bununla birlikte, HALT, birden fazla zorlanma faktörü ve/veya bu test faktörlerinin kombinasyonlarını kullanabilir. Zorlanma tür veya türleri, test yapacak mühendise bağlı olmakla beraber, genel olarak, elektronik veya mekanik cihazlar için, sıcaklık, gerilim, titreşim ve nem değerlerini içermektedir. Kimi zaman bunlara akım ve güç değerleri ya da bunlarla ilişkili başka bazı büyüklükler de eklenebilir (Nelson, 1990).

HALT yapılmadan önce karar verilmesi gereken, daha yüksek bir zorlanma değeri veya belirli bir zorlanma değerinde daha fazla sayıda çevrim uygulama seçeneklerinden hangisinin tercih edileceğidir. Aslında bu durumda, bir cihazın veya cihazın bir alt parçasının arıza mekanizmasını görebilmek için, çok yüksek zorlanma az çevrim, ya da daha düşük zorlanma koşullarında fazla çevrim yapılabilme durumu bulunur (Silverman, 2006).



**Şekil 2.1 :** Çevrim sayısı ve sıcaklık değişimi arasındaki ilişki

Şekil 2.1'den de görüleceği üzere, sıcaklıktaki değişim hızı arttıkça çevrim sayısı azalmaktadır. Örneğin, 6 °C/dakika'lık bir sıcaklık artış hızı için 102 çevrim gerekirken, 18 °C/dakika'lık bir sıcaklık değişim hızı için gereken çevrim sayısı 50'dir. HALT yöntemi ile ürün testinde zamanda kazanım sağlanırken (daha kısa sürede sonuca erişilirken), ürün geliştirme ve tasarım gibi önemli rol oynayan faktörler için daha az harcama yapılmasını sağlar.



**Şekil 2.2 :** HALT yöntemi için iklimlendirme kabini

HALT yönteminin yapılabilmesi için belirli bir ortam sağlanması gerekmektedir. Bu ortamın çok özel çevre şartları sağlanması gerektiğinden, büyük üreticiler tarafından yapılan cihazlarla HALT yöntemi uygulanabilir. HALT yönteminin uygulanabilmesi için, Şelil 2.2'deki gibi özel aşırı zorlanma koşulları sağlayan kabinlerin kullanılması gerekmektedir.

## **2.2 Hızlandırılmış Ömür testi – ALT (Accelerated Life Testing)**

Hızlandırılmış ömür testi, ALT, cihazın ömür eğrisinden bilgi almaya yarar. Bölüm 2.1'de anlatılan HALT ile belirlenen ve ürünün dayanma sınırı olarak düşünülen zorlanma değerlerinin bir miktar altında yapılan testler ile, cihazın zamana bağlı dayanımı ortaya çıkar. ALT yöntemi ile, belirli bir hızlandırma oranı için, arıza zamanı belirlenir ve bu arıza zamanı kullanılarak, belirli matematiksel modeller yardımıyla, cihazın normal çalışma koşullarındaki ömrü kestirilir (Nelson, 1982). Bu tarz bir arıza zamanı ve ömür kestirimi, normal çalışma koşullarında test edip sonuca varmaktan hem daha verimli hem de daha ucuz bir yöntemdir.

ALT yöntemi için, belirli ve sabit bir değerde test yapıldığında, yüksek zorlanma koşullarında bile, cihazın bozulması için çok uzun bir zaman gerekebilir. Bunun nedeni, cihazların arıza zaman dağılımlarının çok farklı olabilmesi gerçeğidir. Bu nedenle basamaklı-zorlanma (step-stress) yöntemi ile, zorlanma kademe kademe arttırılarak, test zamanı azaltılır. Böylelikle, cihazların yeteri kadar kısa bir sürede bozulması sağlanır. Basamaklı-zorlanma test yöntemi, belirlenmiş koşullarda ve zamanda, belirli bir düzene göre, cihaz bozulana kadar uygulanır. Burada bahsedilen belirlenmiş koşul ve zamanlar, cihazların yeteri kadar hızlı ve veri alınacak kadar doğru bir mekanizmayla bozulmasını sağlayabilecek şekilde seçilmişlerdir (Nelson, 1982). Eğer seçilen değerler, belirli bir zamanda cihazın bozulması için yeterli değilse, ALT yöntemi, cihaz bozulmadan da durdurulabilir. Bu şekilde toplanan verilere (sağdan) sansürlü veriler adı verilir.

ALT parametre hesabı Bölüm 3'te, ve bunların saha verileri ile karşılaştırılması Bölüm 4'te yapılacaktır.

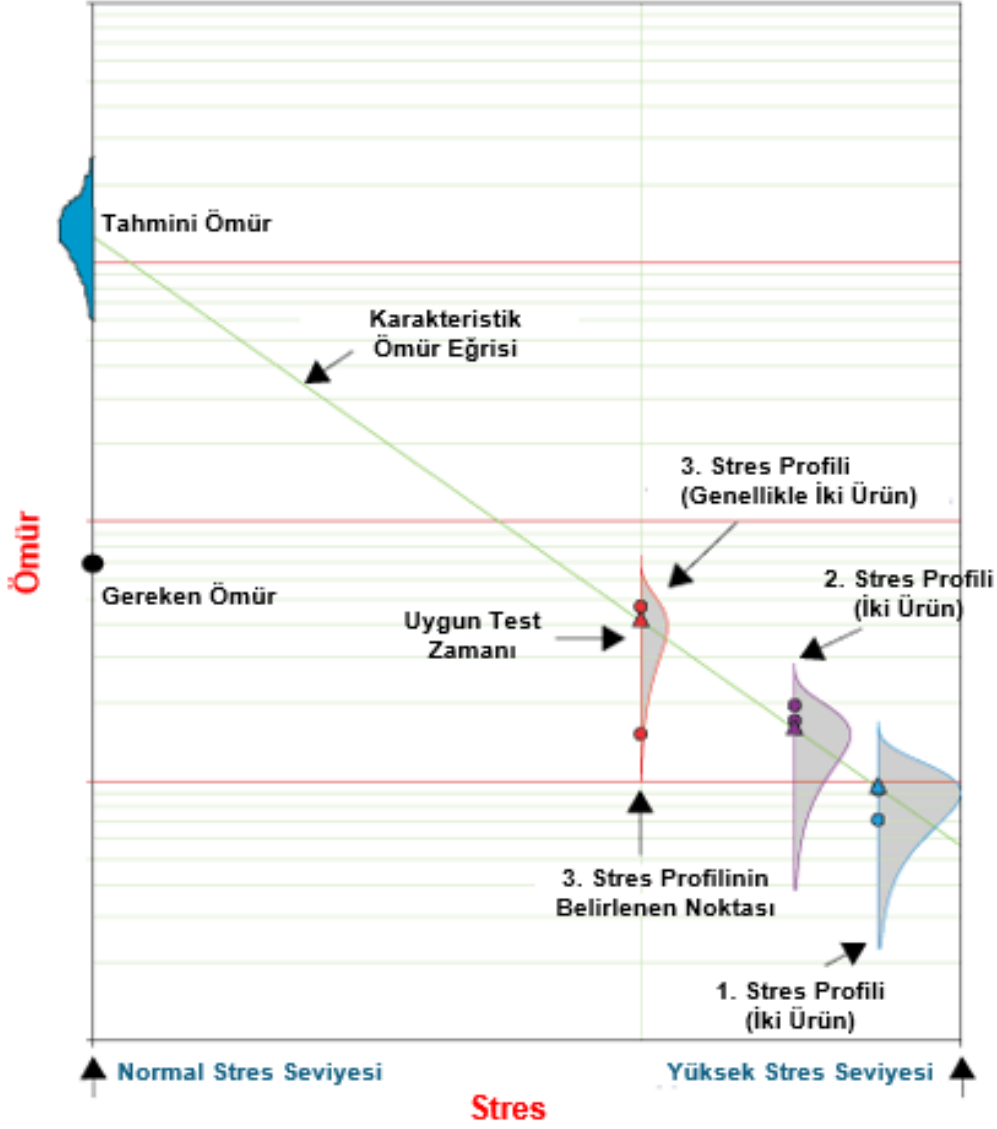
### 2.3 Kalibre Hızlandırılmış Ömür Testi – CALT (Calibrated Accelerated Life Testing)

CALT yöntemi da tıpkı daha önce bahsedilen ALT yöntemi gibi, cihaza, normal koşulların üzerinde zorlanmalar uygulayarak, ömür eğrisini ve dolayısıyla da güvenilirliğini kestirmeye yarar. CALT yönteminin ALT yöntemine göre farklı olan özelliği, sadece üç farklı zorlanma düzeyinde ve genellikle altı ürün kullanılarak test yapılıyor olmasıdır (Paschkewitz, 2009).

CALT yöntemi sonuçları, belirlenecek olan üç zorlanma düzeyine ve burada test yapılacak olan ürün sayısına bağlıdır. Burada öncelikle yapılması gereken, ilk zorlanma düzeyini belirlemektir. İlk zorlanma düzeyi, HALT veya basamaklı-zorlanma yöntemiyle belirlenen aşırı zorlanma düzeylerinin %10-%15 altında kalmak kaydıyla belirlenir (Paschkewitz, 2009; Sal, 2015). Ancak burada dikkat edilmesi gereken, HALT veya basamaklı-zorlanma yöntemiyle belirlenen aşırı zorlanma düzeyinin doğru olmasıdır. O yüzden, belirlenen ilk CALT zorlanma düzeyinde iki örnek ürün deneyerek sonuçların doğruluğunu görmek gerekir. İlk zorlanma düzeyi belirlendikten sonra, bu düzeyle maksimum zorlanma düzeyi arasındaki fark kadar (10%-15%) daha düşük ikinci zorlanma düzeyi belirlenir. İkinci zorlanma düzeyinde de iki ürün denedikten ve sonuçlar gözlemlendikten sonra; bu verilerle belirli bir ömür-zorlanma eğrisi belirlenir. Üçüncü zorlanma düzeyi bu eğri üzerinde uygun bir nokta seçilmek suretiyle belirlenir (Hobbs, 2000) ve bu düzeyde de iki ürün denenir. CALT yöntemi sonuçları büyük ölçüde, ilk iki zorlanma düzeyi tarafından belirlenir. Üçüncü zorlanma düzeyi, sadece yol gösterir. Fakat, üçüncü zorlanma düzeyinin belirlenmesi için, ilk iki zorlanma düzeyinde test edilen dört ürünün belirli bir ömür-zorlanma eğrisi çıkarılması ve bunun eğimine göre bir üçüncü nokta belirlenmesi gerekmektedir.

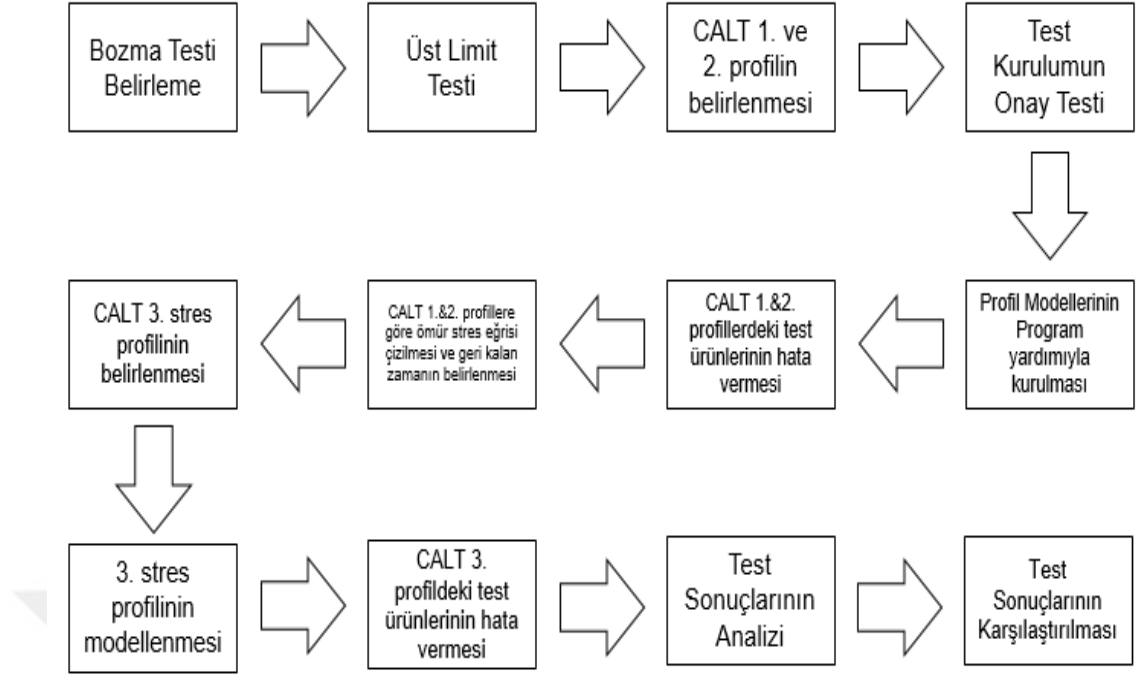
CALT yöntemi, aslen ALT yöntemi baz alınarak şekillendirilen ve ALT yönteminde kullanılan çok sayıda test ürünü sayısını azaltmak için önerilen bir yöntemdir. Buradaki amaç, hızlandırma faktörü etkisini arttırarak, daha kısa zamanda, daha az sayıda ürünle test yapılarak ömür-zorlanma eğrisinin ve buna bağlı olarak güvenilirliğinin belirlenmesidir. Bu yüzden, ALT yönteminde, arıza oranı azaldıkça, ürün sayısı parabolik olarak artarken, CALT yönteminde test edilen ürün düzeyi aynı (genellikle altı) kalmaktadır.

Şekil 2.3'te CALT yönteminde belirlenen zorlanma düzeyleri, ürünün ömür düzlemine dik olarak, en yüksek zorlanma düzeyinden normale doğru gösterilmektedir.



Şekil 2.3 : CALT yöntemi, ömür-zorlanma eğrisinin değişimi (Paschkewitz, 2009)

Şekil 2.4'te, CALT yönteminin adımları bir diyagram üzerinde anlatılmaktadır.



Şekil 2.4 : CALT yönteminin diyagram gösterimi

## 2.4 ALT ve CALT

CALT yönteminde, ALT'a göre daha az sayıda ürün kullandığı belirtilmişti. Ancak buradaki en büyük sorun, hata payları ve değişik matematiksel yöntemlerle belirlenen değerlerin doğruluğudur. Çünkü, özellikle çok düşük arıza oranlarında ( $<0,1$ ), ALT'ta yaklaşık binler mertebesinde ürün kullanılırken, CALT yönteminde sadece altı ürün kullanılması çok da mantıklı bir doğruluk elde edilemeyeceği izlenimini vermektedir.

ALT ve CALT yöntemlerinin ilgi süreleri, amaca bağlı olarak, birbirinden oldukça farklıdır. ALT yönteminde genellikle garanti süresi gözönüne alınıp ve bunun ötesi sansürlü veri olarak dikkate alınırken; CALT yönteminde arızaya kadar geçen ortalama süre, MTTF (mean-time-to-failure) kullanılır (Sal, 2015). Dolayısıyla aynı sayıda ürün için, ALT yöntemi CALT yöntemine göre çok daha az zaman harcamış olacaktır. Bir örnek vermek gerekirse, garanti süresi 2 yıl, MTTF = 10 yıl olan bir cihaz düşünüldüğünde, bir ürün için geçen test süresi, diğer parametreler aynı olarak düşünüldüğünde, CALT yönteminde, ALT yöntemine oranla 5 kat daha fazla olacaktır. CALT ve ALT arasındaki karşılaştırma daha çok matematiksel modellemeye dayandığından, bunlarla ilgili asıl inceleme Bölüm 3 içinde yapılacaktır.



### **3. GÜVENİLİRLİK PARAMETRELERİ**

Bu bölümde, ALT ve CALT test yönteminde kullanılan güvenilirlik parametreleri ile ilgili açıklamalara ve hesaplara yer verilecektir. Güvenilirlik parametreleri hem bir cihazın güvenilirliğinin belirlenmesi hem de arıza oranından güvenilirliğe gidişi temsil etmektedir. Buna göre güvenilirlik testlerinde belirlenmesi gereken en önemli parametreler, testin ne kadar hızlı ve hangi zorlanma düzeylerinde gerçekleşeceği. Hızlandırma faktörü (acceleration factor), testin ne kadar hızlı yapılacağını gösteren bir faktördür. Güven aralığı (confidence interval) ve sınırlar oranı (bounds ratio) ise, test edilecek cihaz sayısı belirlendikten sonra, test sonuçlarının doğruluğu hakkında bir fikir verir. Daha sonra bu parametrelerin matematiksel olarak modellenmesiyle birlikte, test sonuçları ve bununla birlikte doğruluk payı değerleri ortaya çıkar.

#### **3.1 Hızlandırma Faktörü**

Hızlandırma faktörü, daha önce de bahsedildiği üzere, testin ne kadar hızlı gerçekleşeceğini belirtir. Dolayısıyla bu sayı ile testin kaç kat daha fazla zorlanma koşullarda yapılacağı belirlenir. Ancak istenilen zorlanma türünü bağlı olarak (sıcaklık, nem, titreşim, gerilim, mekanik, vb.), hızlandırma faktörü farklı formüllerle modellenir. Bölüm 1’de verilen saha verileri, sıcaklık, gerilim ve titreşim (mekanik) parametrelerine bağlı arıza istatistiklerini gösterdiği için, bu bölümde söz konusu bu üç zorlanma faktörü ile ilgili modellemeler incelenecektir.

##### **3.1.1 Sıcaklık hızlandırma faktörü**

Genel olarak, çoğu bozulma mekanizması, cihazın normal çalışma sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklarda test edilerek bozulmaya zorlanmasıyla ilişkilendirilebilir. Bu durumda uygulanacak olan güvenilirlik testi, sıcaklık için özel olarak belirlenmiş hızlandırma faktörü ile matematiksel olarak modellenerek, kabul edilebilir bir zaman içerisinde tamamlanabilir ve cihazın arıza hızı ve güvenilirlik değerleri hesaplanabilir. Sıcaklık-ürün etkileşimi, genel olarak fiziksel veya kimyasal reaksiyon sonucu bozulmalarla tanımlanır. Sıcaklığa özel hızlandırma faktörünün

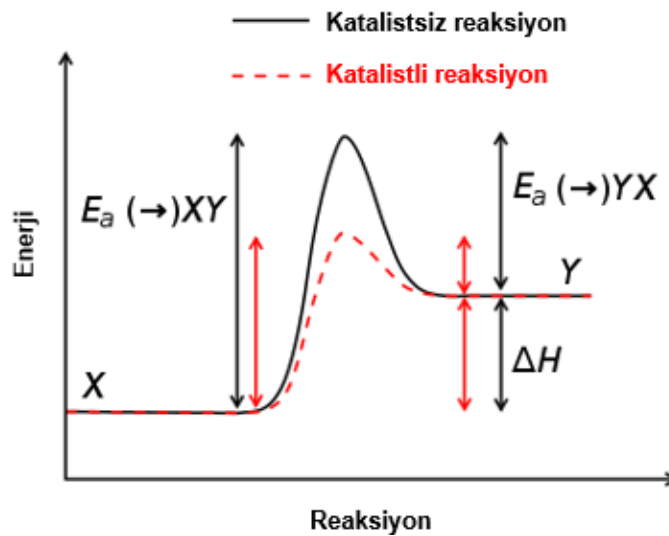
hesaplanması için geliştirilen modellerde, 3.1 ile verilen Arrhenius formülü kullanılır (Power Semiconductor Reliability Handbook, 2010).

$$\tau = A \times \exp \frac{E_a}{kT} \quad (3.1)$$

Burada  $E_a$ , aktivasyon enerjisi [eV],  $k$  Boltzmann sabiti ( $8,617 \times 10^{-5} \text{ eV/}^\circ\text{K}$ ),  $A$  bir sabit ve  $T$  [ $^\circ\text{K}$ ] ise sıcaklıktır. Bu modele göre, bir cihazın  $T_s$  zorlanma sıcaklığında belirlenen ömrü  $\tau_s$  ve  $T_0$  normal çalışma sıcaklığındaki ömrü  $\tau_0$  ise, hızlandırma faktörü 3.2 deki gibi hesaplanır;

$$AF_T = \frac{\tau_0}{\tau_s} = e^{\frac{E_a}{k} \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_s} \right)} \quad (3.2)$$

Burada önemli olan bir diğer faktörü ise  $E_a$  aktivasyon enerjisidir. Aktivasyon enerjisi, kimyasal bir tepkimenin gerçekleşebilmesi için aşılması gereken enerji değeridir. Terim ilk kez 1889 yılında, Svante Arrhenius tarafından kullanılmıştır. Her kimyasal tepkimenin kendine özgü bir aktivasyon enerjisi vardır. Bu tanıma göre, cihaz ısı enerjisi bir değeri geçerse kimyasal reaksiyon başlar ve bunun sonucu olarak cihazın arıza (bozulma) sistemi tetiklenir. Bu enerjiyi belirli bir değer altına çekerek, tepkimenin başlamasına ve dolayısıyla sistemin bozulmasına neden olacak oluşumlara ise katalist adı verilir. Katalist her ne kadar aktivasyon enerjisini düşürerek tepkimeyi başlatsa da, orijinal ekipmanların veya cihazın enerjisini değiştirmez. Hatta, ancak aktivasyon enerjisi düşürüldüğünde, orijinal ekipmanların veya cihazın enerjisi aynı kalır demek daha doğru olacaktır.



Şekil 3.1 : Aktivasyon enerjisinin değişimi (Bui, 2017)

Şekil 3.1’de katalist kullanılarak ve kullanılmadan oluşan reaksiyonun aktivasyon enerjisi değerine etkisi gösterilmektedir.

Daha önce de bahsedildiği üzere, aktivasyon enerjisi belirli katalistlere bağlı olarak düşer ve tepkime başlar. Ancak, hızlandırma faktörü hesabında, bunun hangi maddeye bağlı olduğunu bilmek de önemlidir. Çünkü kullanılacak maddeye göre aktivasyon enerjisi farklı değerler almaktadır. Çizelge 3.1’de arıza türüne göre aktivasyon enerji değerleri gösterilmiştir.

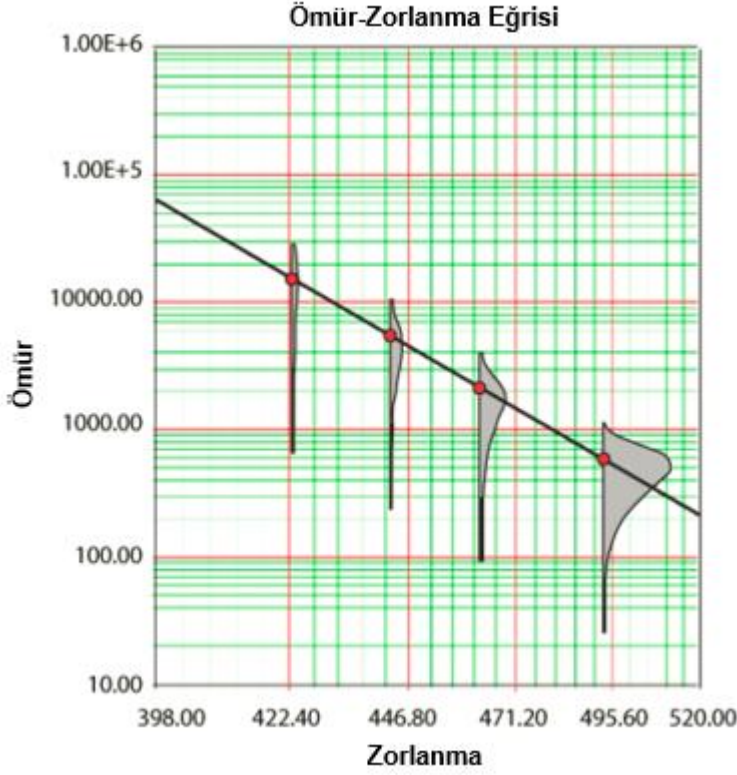
**Çizelge 3.1** : Arıza türlerine göre aktivasyon enerjisi dağılımı (Giacomo, 2000)

Mekanizma	Sıcaklık $E_a$ (eV)
Oksitlenme arızası	0,3
Ara metal arızası	0,3
Ciladan metal arızası	0,3
Silikon bağlantı arızası	0,8
Perdeleme arızası	0,5
Electromigrasyon arızası	0,5
Kirlenme arızası	1,0
Montaj arızası	0,5
Ara metal büyüme arızası	1,0
Korozyon	0,3-1,1

Saha verilerinde sıcaklık için buradan seçilecek olan değerlere ilerki bölümlerde değinilecek ve seçilen değerlerle hesaplamalar yapılacaktır.

### 3.1.2 Gerilim hızlandırma faktörü

Gerilim hızlandırma faktörünün hesaplanması için de Arrhenius modelinden yola çıkılarak geliştirilen Eyring modeli önerilmiştir. Eyring modeli, gerçekçi sonuçlar elde edebilmek için, kullanıldığı cihazın yapısı oranında karmaşık olabilmektedir. Topraklı priz gibi sade yapılarda, daha basit olup daha iyi sonuçlar vermektedir. Şekil 3.2’den de görüleceği üzere Eyring eğrisi de tıpkı Arrhenius gibi logaritmik bir zorlanma-ömür eğrisi vermektedir.



**Şekil 3.2 :** Gerilim zorlanması için Eyring modellemesinin ömür-zorlanma eğrisi (Leemis, 1995)

Arrhenius modeline benzer şekilde, cihazın  $V_s$  zorlanma gerilimindeki ömrü  $\tau_s$  3.3 eşitliği ile verilir;

$$\tau_s = A_0 V_s^{-\beta} \quad (3.3)$$

Bu formülde, A bir sabit,  $\beta$  ise gerilim hızlandırma sabitidir. Benzer şekilde, bir cihazın  $V_s$  zorlanma geriliminde belirlenen ömrü  $\tau_s$  ve  $V_0$  normal çalışma gerilimindeki ömrü  $\tau_0$  ise, gerilim hızlandırma faktörü 3.4 deki gibi hesaplanır;

$$AFv = \frac{\tau_0}{\tau_s} = \frac{V_s}{V_0}^\beta \quad (3.4)$$

Tıpkı Arrhenius formülündeki aktivasyon enerjisi,  $E_a$  için, arıza türüne bağlı farklı değerler olduğu gibi, gerilim için modellenen Eyring formülündeki  $\beta$  için de arıza mekanizmalarına göre farklı değerler söz konusudur. Bu mekanizmalar ve aldıkları  $\beta$  değerleri Çizelge 3.2’de gösterilmektedir.

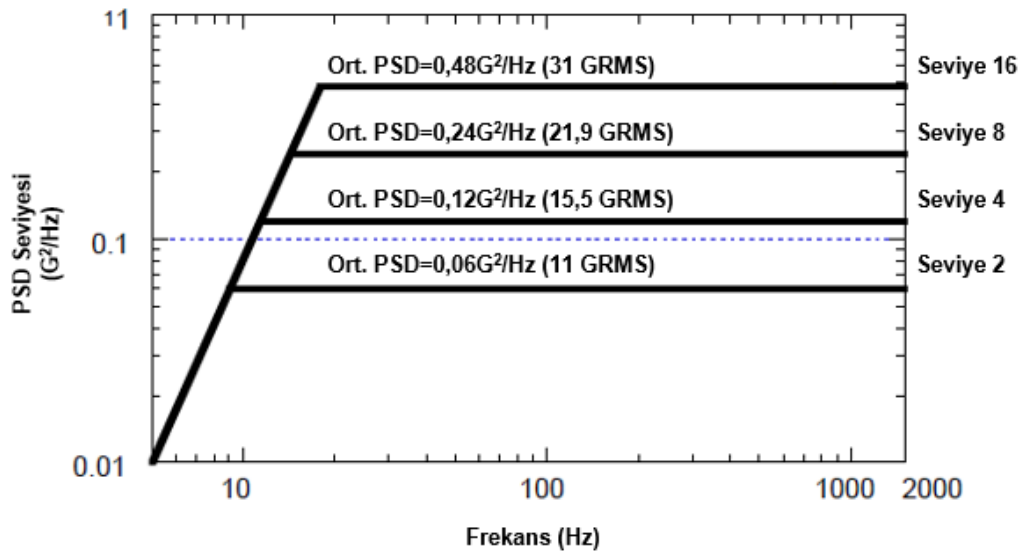
**Çizelge 3.2 :** Gerilim hızlandırma faktörü için  $\beta$  değerleri (Wu, 2000)

Mekanizma	$\beta$ (1/V)
Zayıf oksitlenme arızası	Tox/100
Ara metal arızası	2-18
Ciladan metal arızası	2-18
Silikon bağlantı arızası	0-2

Her ne kadar Eyring formülizasyonunda  $\beta$  değerlerinin belirli karşılıkları olsa da, bunların değer aralıklarını gerilim-güç sabiti cinsinden elde etmek de mümkündür. Buna göre gerilim-güç sabiti değerleri 2 ile 18 arasında değişebilmektedir. Ancak çok karmaşık yapılarda ve hızlandırma faktörünün büyük seçilmesi gerektiği durumlarda bu değer 10'un üzerine çıkabilmektedir. Daha az karmaşık uygulamalarda ise genel olarak 5 ile 10 arasında seyretmektedir.

### 3.1.3 Titreşim hızlandırma faktörü

Titreşimli hızlandırılmış testleri için, cihazlar, sistemi belirli bir frekansta titreten, ve bu titreşimi sinüsoidal ve/veya rastgele olmak üzere ayarlanmış bir sistemde test edilirler. Titreşimli hızlandırma modelini sisteme uygulayabilmek için, cihazın arıza mekanizmasını iyi bilmek gerekmektedir. Bunun nedeni, cihazın rastgele titreşimlere maruz kaldığı durumlarda, malzemenin rezonans frekansı, cihazın yorulma (özellik yitirme) süresini etkileyebilmektedir.



**Şekil 3.3 :** PSD test düzeyleri örneği (Denson, 1996)

Rastgele titreşimlerle titreşim analizi frekans ekseninde PSD (Güç spektral yoğunluğu-Power spectral density) ile ifade edilen zorlanmalarla gerçekleştirilir. Şekil 3.3'te farklı frekans değerlerinde PSD değerleri seviyelendirilmiştir ve maksimum titreşim değerinde zorlanma oluşmaktadır. Ancak bu tür zorlanmaların etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için testin diğer zorlanmalardan olarak yapılması gerekmektedir. Bunun nedeni, kimi zaman normal koşullarda meydana gelen hatanın diğer koşullardan bağımsız olmasıdır.

Şekil 3.3'te titreşim birimi olarak kabul edilen G sembolünün karesinin direkt olarak Güç Yoğunluğu Düzeyi (Power Density level) ile orantılı olduğu görülmektedir. Bu bağlamda sistem hem rastgele hem de sinüzoidal titreşimin etkisinde bırakılabilmektedir. Bu örnekte, teste bağlı yorulma parametresi, deneysel olarak saha verilerinden alınmıştır. Bu parametreyi de kapsayan titreşim hızlandırma faktörü hesaplaması denklem (3.7)'de verilmektedir.

$$AF_t = \frac{\tau_s}{\tau_0} = \frac{W_s}{W_0} M_b \quad (3.7)$$

Burada  $\tau_s$  ve  $\tau_0$  sırasıyla  $W_s$  aşırı titreşim zorlaması koşullarında ve  $W_0$  normal titreşim durumlarındaki ömrü;  $M_b$  değeri ise bir sabiti göstermektedir. Bu değer genel olarak 4 ila 6 arasında değişmektedir.

### 3.2 Sınırlar Oranı, Güven Aralığı ve Güven Düzeyi

İstatiksel analize göre, bir testte, denenen ürün sayısı arttıkça, güven aralığı da daralmaktadır veya aynı güven aralığı için doğruluk artmaktadır. Aynı zamanda bu durum sınırlar oranı ile doğru orantılı olarak değişmektedir.

Bu kavramları daha iyi açıklamak amacıyla, içinde, içinde, sayısı bilinmeyen kırmızı ve siyah bilyelerin bulunduğu bir havuzu gözönüne alalım. Eğer havuz içerisinden, rastgele 20 bilye alındığını ve bunların 5 tanesinin siyah ve 15 tanesinin kırmızı olduğu durum dikkate alınır; havuzdaki siyah bilye oranının  $\frac{5}{20} = \%25$  olduğu sonucuna varılır. Top alımları rastgele yapıldığı için, siyah top oranı bir raslantı değişkenidir ve belirli bir aralıkta, farklı değerleri alma olasılığı söz konusudur. Dolayısıyla bu işlem bir kez daha tekrar edildiğinde, siyah bilye oranı bu kez  $\frac{4}{20} = \%20$  veya  $\frac{6}{20} = \%30$  veya başka bir değer de çıkabilir. Bu işlem sonsuz kere tekrar edildiğinde, çekilecek olan siyah bilyelerin oranı çoğunlukla belirli iki uç

değer arasında (örneğin %90 oranında, %15-%35 aralığında) çıkacaktır. Biz bu durumu, havuzdaki siyah bilye oranının %90 güven düzeyinde %15-%35 aralığında çıkacak şekilde ifade ederiz. Başka bir deyişle, bilye dolu havuzdan rastgele 20 bilye alındığında ve bunun içerisindeki siyah bilyeler tahmin edildiğinde, %10 ihtimalle hata yapılması söz konusudur (Guo, 2013). İşte bu %10'luk ihtimal de risk düzeyi olarak adlandırılmaktadır. Açık ki, alt ve üst sınırlar genişletildikçe/daraltıldıkça güven düzeyi artacak/azalacak ve risk düzeyi azalacak/artacaktır. Risk düzeyinin güven düzeyi ile ilişkisi denklem (3.8)'de gösterilmektedir.

$$\alpha = 1 - CL \quad (3.8)$$

Diğer yandan, çekilecek bilye sayısı arttırıldığında, örnek olarak 200 bilye çekildiğinde ve bunlardan 40 tanesinin siyah ve 160 tanesinin kırmızı olduğu düşünüldüğünde, siyah bilyelerin diğer bilyelere oranı  $40/200=20\%$  olacaktır. Benzer şekilde 200 bile çekilişinin çok sayıda tekrarlanması durumunda, %90 güven düzeyinde kalacağı aralık, 20 bilye çekilişine göre daha dar (örneğin %20-%30) olacaktır. Yani, 20 bilye için yapılan işlemde daha dar bir güven aralığı elde edilecektir. Veya 20 bilye çekilişindeki %15-%35 aralığı dikkate alındığında, güven düzeyi %90'ın üzerinde (örneğin %95) olacaktır. Yani, aynı güven aralığı için, daha yüksek bir güven düzeyi/daha düşük risk oluşacaktır.

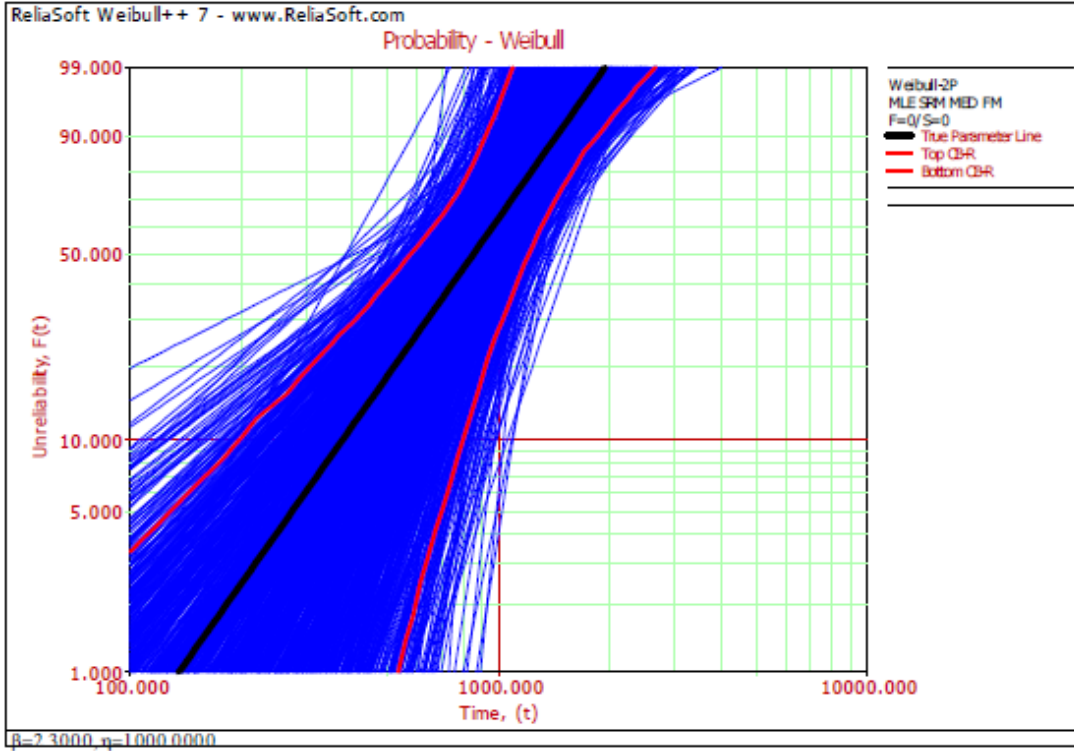
Havuz örneğini, cihaz ömür testlerine uyarlayacak olursak, test edilecek ürün sayısı arttıkça güven aralığı daralır. Bu durum denklem (3.9) ve (3.10)'da sırasıyla sınırlar oranı ve sınır genişliği cinsinden gösterilmektedir (Guo, 2008).

$$SO = \frac{Xu,cl}{Xl,cl} \quad (3.9)$$

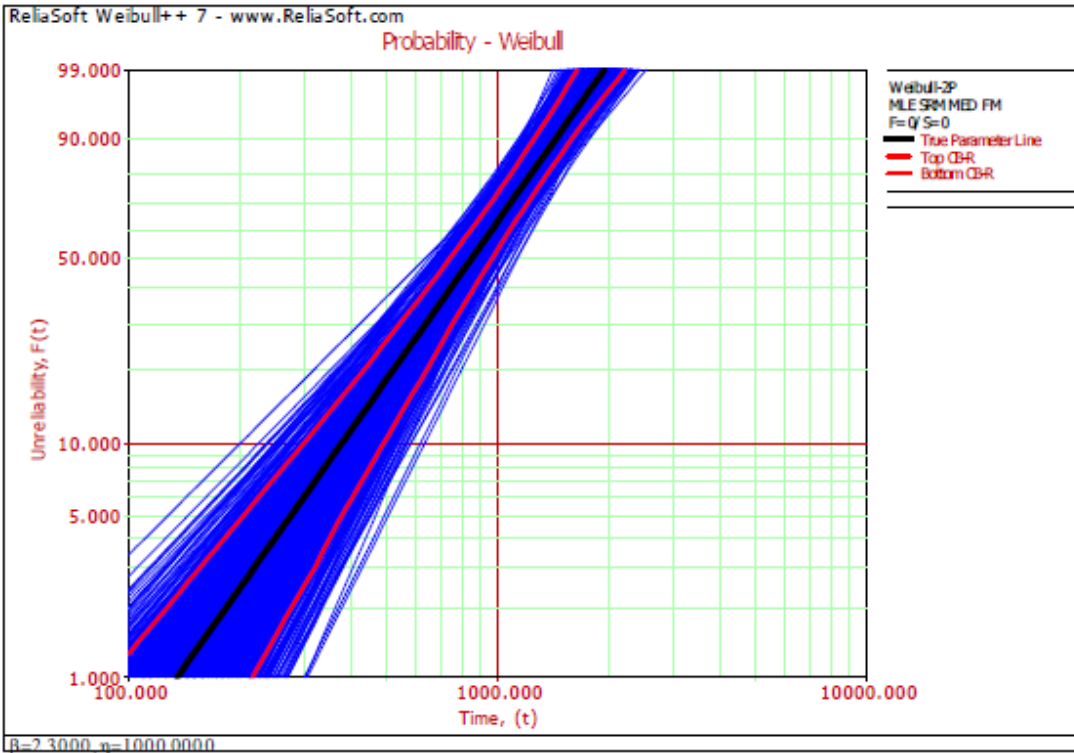
$$SA = Xu,cl - Xl,cl \quad (3.10)$$

Genel olarak logartimik dağılımlı ömür eğrisi olan ürünlerde, sınır genişliği (3.10 eşitliği) kullanılırken, normal dağılımlı ömür eğrisi olan ürünler için sınır oranı (3.9 eşitliği) kullanılır.

Şekil 3.4 ve 3.5'te Reliasoft programı kullanılarak oluşturulmuş, 2-parametrelili Weibull dağılımı için, 5 ve 40 ürün kullanılan testlere ilişkin güven aralıkları gösterilmektedir.



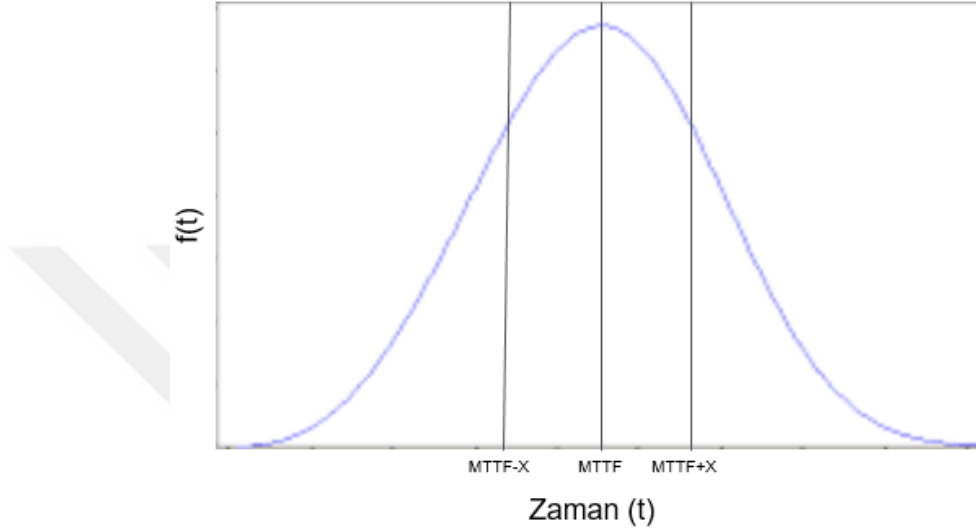
Şekil 3.4 : 2-Parametrelili Weibull Dağılımı için sınırlar oranı; ürün sayısı = 5



Şekil 3.5 : 2-Parametrelili Weibull Dağılımı için sınırlar oranı; ürün sayısı = 40

Şekillerden de görüleceği üzere, fazla sayıda ürünün test edilmesi durumunda daha küçük bir sınırlar oranı elde edilmektedir. Bu durum ALT ve CALT yöntemlerine

uyalrılanacak olursa; arıza oranında ALT ve CALT yöntemlerinde kullanılan ürün sayıları farklı olduğundan, sınırlar oranı da farklı olacaktır. Daha fazla ürün kullanan ALT, doğal olarak CALT'a göre daha düşük bir sınırlar oranı vermektedir. Her iki test yönteminin de belirli güven aralığında yapıldığı düşünülduğünde, %95 ihtimalle CALT'ın sınırları daha esnek olmak zorundadır. Çünkü arızanın, MTTF değerinden sonra oluşma olasılığı da bulunmaktadır.



**Şekil 3.6 :** f(t) olasılık (arıza) yoğunluk fonksiyonu

Şekil 3.6'dan da görüleceği üzere sınırlar, belirli bir MTTF değerine göre belirlenir.  $(MTTF+X)/(MTTF-X)$  oranı, sınırlar oranını ifade etmektedir. Dolayısıyla bu sayının büyük olması aralığı genişletmek anlamına gelmektedir. İstenen oran farklı ihtiyaçlara göre farklılık gösterebilmektedir.

### 3.3 Doğruluk

Doğruluk, belirli bir arıza oranına, test süresine, hızlandırma faktörüne ve sınırlar oranına göre yapılan test sonucunun ne derece doğru olduğu ile ilgilidir. Belirli bir olasılık yoğunluk fonksiyonu (Normal, Weibull, vb.) kullanıldığında, ve bu dağılım üzerinde rastgele noktalar atandığında, her bir nokta için, olasılık yoğunluk fonksiyonu değeri ve değişkenin bu değerden küçük/büyük değeri olma olasılığı farklıdır. Bir cihazın, Şekil 3.6'daki gibi bir arıza yoğunluk fonksiyonu gözönüne alalım. Belirli bir k değeri için

$$\int_0^k f(t) dt \quad (3.11)$$

integrali, cihazın  $t = k$  süresinden önce oluşma olasılığını,

$$\int_k^l f(t) dt \quad (3.12)$$

Değeri ise cihazın  $k < t < l$  zaman diliminde arızalanma olasılığını belirtir.

Beklenen arıza süresi veya bir başka deyişle arızaya kadar geçen ortalama süre ise

$$E t = MTTF = \int_0^{\infty} f(t) dt \quad (3.12)$$

Eşitliği ile hesaplanır. Bu tip bir simetrik arıza yoğunluk fonksiyonu için, MTTF değeri, arıza yoğunluk fonksiyonunun simetri noktasında, yani şekildeki gibi  $f(t)$  nin maksimum değeri aldığı ana karşı düşer. Öngörülen bir  $X$  değeri için,  $(MTTF+X)/(MTTF-X)$  oranı, yukarıda sözü edilen sınırlar oranını vereceğinden, belirlenen bir güven aralığı ve güven düzeyi değerleri için, rastgele atanan noktalardan kaç tanesinin bu aralıkta kaldığı, doğruluk oranını verecektir. Örnek olarak MTTF değeri 30 yıl olan bir ürün için, öngörülen sınırlar oranı 2 olursa,

$$SO = \frac{MTTF+X}{MTTF-X} = 2 \quad (3.13)$$

eşitliğinden  $X = 10$  yıl olarak hesaplanır. Dolayısıyla öngörülen alt ve üst MTTF değerleri sırasıyla  $MTTF - X = 20$  yıl ve  $MTTF + X = 40$  yıl olacaktır. İstenilen güven aralığı %95 ise, test edilen (veya işletmede kullanılan) 100 üründen 95 tanesinin bu aralıkta arızalanması gerekir. Bir başka deyişle, eğer test edilen 100 üründen 95 tanesi bu aralıkta arızalanıyor ise, testin doğruluğu %95'dir denir.

Doğruluk açısından test metodolojilerinin de kendi aralarında belirli bir dağılımı vardır. Doğal olarak, ALT yöntemi CALT'a göre çok daha fazla test ürünü kullandığı için daha doğru sonuç verir. Diğer yandan, ALT yöntemi daha çok garanti süresi kadar olan zaman diliminde gerçekleştirilmesi, buna karşılık CALT yönteminde bu test süresinin MTTF olduğu dikkate alınır, CALT yönteminin test süresinin uzunluğundan kaynaklanan bazı üstünlükleri bulunmaktadır. Bunun bir başka şekilde ifadesi ise, CALT yönteminde MTTF referans alınarak hızlandırma faktörü ile ivme kazandırılırken, ALT yönteminde, garanti süresi baz alınarak hızlandırma faktörü ile ivmelendirme yapılır. Dolayısıyla ALT yöntemi, garanti süresi için daha sağlıklı sonuç verirken, bu değer sonrası için daha yüksek bir belirsizlik içerir.

## **4. ALT – CALT KARŞILAŞTIRMA**

Bu bölümde, çoğu uygulamada kullanılan ALT yöntemi ile son yıllarda önerilen CALT yöntemi karşılaştırılacaktır. Bu karşılaştırmalar, sınırlar oranı, birim ve toplam test zamanları, hızlandırma faktörü ve arıza oranı gibi parametreler bazında yapılacaktır. Son olarak, belirli arıza oranlarında, belirli parametrelerle, test sırasında kullanılacak ürün sayıları ile ilgili öneriler verilecektir.

### **4.1 Sınırlar Oranı**

Bölüm 3'te bununla ilgili açıklamalara yer verilmiş, sınırlar oranının hangi değişkenlere bağlı olduğu anlatılmıştı. ALT yöntemi, özellikle küçük arıza oranlarını durumunda, çok fazla ürün gerektirdiğinden, genel olarak altı ürün kullanılan CALT'a göre daha küçük (dar) sınırlar oranı gösterir. Bu da daha büyük (geniş) sınırlar oranı, daha düşük bir kesinlik ve dolayısıyla daha düşük doğruluk anlamına gelmektedir. Bir önceki bölümde, Şekil 3.4 ve 3.5'de 5 ürün (CALT ürün sayısına yakın) ve 40 ürün (ALT ürün sayısı içinde) için sınırlar oranı gösterilmiştir.

### **4.2 Birim ve Toplam Test Zamanları**

Birim test zamanı, test edilen her bir ürün için ALT yönteminde parametre hesaplamasını, CALT yönteminde ise parametre kestirimini gerektirmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi, ALT yönteminde garanti süresi baz alınırken, CALT yönteminde arızaya kadar geçen ortalama süre, MTTF, göz önüne alınmaktadır (Paschkewitz, 2009; Guo, 2013).

Hesaplama yapılacak örneklerimizde haftalık ortalama çalışma süresi 10 saat olarak alınmıştır. Bu değer 52 hafta ile çarpılarak yıllık ortalama çalışma süresine dönüştürülmüştür. CALT yönteminde MTTF değeri, ALT yönteminde ise garanti süresi haftalık çalışma süresi ile işleme sokulacağı düşünüldüğünden, daha sonra bu değer hızlandırma faktörüne bölünmelidir. Çünkü, test, aslında bu kadar hızlandırılmış olacağı için normal çalışma zamanını aynı oranda azaltmış olacaktır.

### 4.3 Arıza Oranı – MTTF İlişkisi

Arıza oranı,  $\lambda$ , ve arızaya kadar geçen ortalama süre, MTTF, arasındaki ilişki, üstel arıza yoğunluk fonksiyonları için 4.1 eşitliği ile verilir.

$$MTTF = 1/\lambda \quad (4.1)$$

Buna göre, beklendiği üzere, belirli bir aralıktaki arıza oranının artması, MTTF değerinin azalmasına neden olmaktadır. Arıza oranı bilinen bir cihazın, MTTF değeri, bu formülden hesaplanabilmektedir.

### 4.4 Parametrelerin Hesaplanması

ALT ve CALT yöntemleri, test edilecek ürün sayısı, birim test zamanı ve toplam test zamanı gibi çıktılar açısından birbirleriyle karşılaştırılacaktır.

#### 4.4.1 ALT

Daha önce de bahsedildiği üzere, güvenilirlik parametrelerinin hesaplanabilmesi için, ALT yönteminde, sıcaklık, mekanik ve gerilim zorlanmaları için ayrı ayrı hesaplamalar yapılmaktadır. Bu formüller bazı çalışmalarla da desteklenmektedir (O'Connor, 2011).

Hesaplamalara başlanmadan önce, girdi olarak kullanılacak bazı parametreler saha verilerinden elde edilecektir. Örneğin, bir beyaz eşya saha verileri ve öngörülen parametreleri aşağıdaki gibi olsun;

- Arıza oranı; %10
- Sınırlar oranı ~5
- Garanti süresi; 3 yıl
- Gözlem süresi; garanti süresi gibi 3 yıl olarak kabul edilmiştir.

3 yıllık gözlem süresi için arıza oranı %10 olduğuna göre, 3. yılda ürünlerin %90'ı sağlam olacaktır ve dolayısıyla da  $t=3$  yıl için güvenilirlik,  $R_{t=3 \text{ yıl}} = 1 - 0.1 = 0.9$  olacaktır. Arızaların, üstel dağılımlı arıza yoğunluk fonksiyonu ile modellendiği varsayılırsa,

$$R_{t} = \exp -\lambda t = \exp\left(-\frac{t}{MTTF}\right)$$

$$R_{3 \text{ yıl}} = 0,90 = \exp\left(-\frac{3}{MTTF}\right) \quad (4.2)$$

$$\Rightarrow MTTF = 28,5 \text{ yıl} \approx 30 \text{ yıl}$$

elde edilir. Burada, gözlem süresi, garanti süresi değerinden daha az veya daha fazla da olabilir.

Bu beyaz eşya örneğinde, zorlanma faktörünün sıcaklık olduğunu düşünelim. Saha verilerinden elde edilen cihazın normal çalışma sıcaklığı ve HALT testleri ile elde edilen maksimum dayanım sıcaklığının % 10-15 aşağısında seçilen birinci düzey zorlanma sıcaklığı (test sıcaklığı) ile ilgili bazı büyüklükleri hesaplayalım. Zorlanma faktörümüz sıcaklık olduğuna göre, Arrhenius modeli kullanılarak, sıcaklık için hızlandırma faktörü  $AF_T$  (3.2) eşitliği kullanılarak hesaplanır.

$$AF_T = \exp \frac{E_a}{k} * \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_s} \quad (4.3)$$

Aktivasyon enerjisi  $E_a = 0,3 \text{ eV}$ , normal çalışma sıcaklığı  $T_0 = 300^0\text{K}$ , zorlanma (test) sıcaklık  $T_s = 373^0\text{K}$ , ve Boltzman sabiti  $k = 8,617 * 10^{-5} \text{ eV}/^0\text{K}$  alınırsa;

$$AF_T = \exp \frac{0,3}{8,617 * 10^{-5}} * \frac{1}{300} - \frac{1}{373} = 9,69 \approx 10 \quad (4.4)$$

olarak bulunur. Böylece arızaya kadar geçen ortalama süre 30 yıl ve sıcaklık hızlandırma faktörü 10 olarak belirlendikten sonra, güvenilirlik denklemleri yardımıyla, çift aşamalı testler için eta sayılarının (Weibull dağılımı ölçek parametreleri) ve hata olasılıklarının hesaplanması mümkün olur. Örnek olarak, Weibull dağılımı şekil parametresi  $\beta=3$ ,  $R(t)$  güvenilirlik ifadesinin hesaplanacağı zaman  $t=6000$  saat, (elde edilen arıza oranının gözlemlendiği zaman aralığı yaklaşık olarak 3 yıl), test süresi 1440 saat alınacak olursa; normal ve zorlanma (test) sıcaklıklarında Weibull dağılımı ile modellenen cihaz ömrünün ölçek faktörleri,  $\eta_1$  ve  $\eta_2$  parametreleri aşağıdaki şekilde hesaplanır

$$R(t) = \exp - t \eta^\beta \quad (4.5)$$

$$R(t) = \exp - t \eta_1^\beta = \exp - 6000 \eta_1^3 = 0,9 \Rightarrow \eta_1 = 12703,55 \text{ saat}$$

$$\eta_2 = \frac{\eta_1}{AF} = \frac{12703,55}{10} = 1270,355 \text{ saat} \quad (4.6)$$

Normal ve aşırı sıcaklık durumlarında,  $t=1440$  saat anındaki arıza olasılıkları sırasıyla

$$Q_1(t) = 1 - \exp - t \eta_1^\beta \quad (4.7)$$

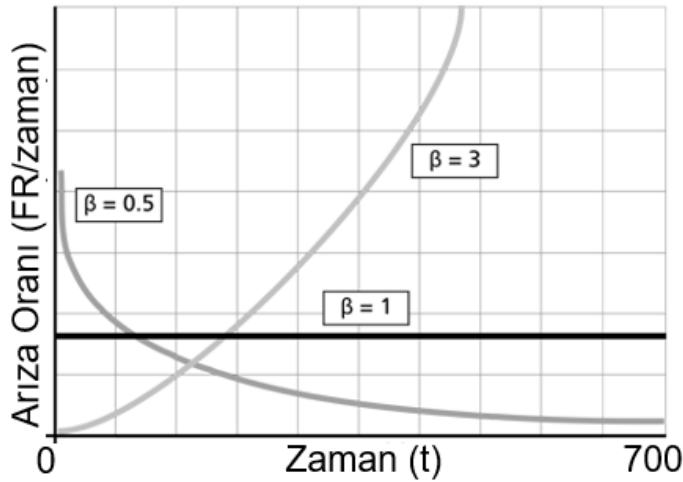
$$Q_1 \text{ 1440 saat} = 1 - \exp - \frac{1440}{12703,55}^3 = \% 0,1455$$

$$Q_2(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t}{n_2}\right)^\beta \quad (4.8)$$

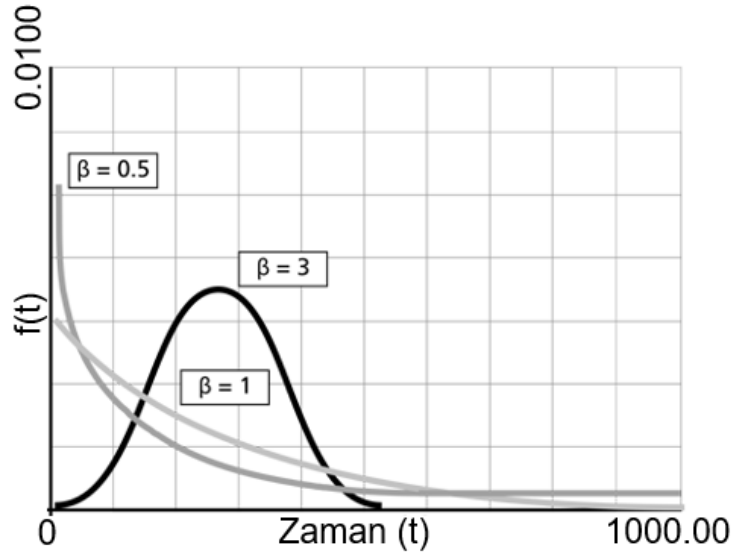
$$Q_2 \text{ 1440 saat} = 1 - \exp - \frac{1440}{1270,355}^3 = \% 76,6951$$

olarak hesaplanırlar.

Burada belirlenmesi gereken cihaz ömrünün hangi olasılık dağılımı ile ve hangi parametrelerle modelleneceğidir. Güvenilirlikte, elektrik ve elektronik cihazlar için en çok kullanılan dağılım iki parametrelili Weibull dağılımıdır (Papoulis, 2002). Şekil 4.1 ve 4.2'de, Weibull dağılımı için, arıza hızı ve arıza yoğunluk fonksiyonları,  $\beta$  şekil parametresi ile değişimi gösterilmiştir (eta ölçek parametresi 1 alınmıştır).  $\beta=3$  değeri için, arıza hızı zamanla artmakta, arıza yoğunluk fonksiyonu ise, MTTF değerine kadar yükselen ve sonra azalan bir seyir izlemektedir.



Şekil 4.1 : Arıza Oranı/Zaman Weibull dağılımı (Sharif, 1980).



Şekil 4.2 : 2-parametrelili Weibull arıza yoğunluk fonksiyonu (Sharif, 1980)

Bu nedenle örneğimizde, arıza yoğunluk fonksiyonu olarak Weibull dağılımı seçilmiş olup,  $\beta$  parametresi 3 alınmıştır. Girdilerin belirlenmesi ve hesaplanmasından sonra, ALTA programını kullanarak optimize edilmiş bir test koşulu hazırlamak mümkündür. Şekil 4.3'ten de görüleceği üzere belirlenen girdilerden sonra tavsiye edilen test planı oluşturulmuş, bu parametreler ile Şekil 4.4'te test sırasında kullanılacak ürün sayısı hesaplanmıştır.

Probabilities of Failure (%) at Time=1440			
A	B	C	D
<b>Test Plan Inputs</b>			
1			
2			
3	Number of Simultaneous Stresses	1	
4	Test Plan Type	2 Level Statistically Optimum Plan	
5	BX% Life Estimate Sought	10	
6	Available Test Time	1440	
7	Lifetime Distribution	Weibull	
8	Beta	3	
9			
<b>Stress1</b>			
11	Life-Stress Relationship	Arrhenius	
12	Use Stress Value	300	
13	Maximum Stress Value	373	
14			
<b>Probabilities of Failure (%) at Time=1440</b>			
16	P(Time, Use Stress)	0,1455	
17	P(Time, Maximum Stress)	76,6951	
18			
<b>Recommended Test Plan</b>			
21	<b>Stress Level</b>	<b>Stress Value</b>	<b>Unit Allocation (%)</b>
22	Low Stress Level	344,498491	70,7
23	High Stress Level	373	29,3
24			
<b>BX% Life Estimate</b>			
26	Time at Which Unreliability (Tp)=10%	6000,610116	

Şekil 4.3 : Test planının oluşturulması

**Şekil 4.4 :** Test edilecek ürün sayısı hesabı

Daha önce de belirtildiği üzere, ALT yöntemi birim zaman hesaplamalarında, garanti süresini kullanmaktadır. BZ, birim zaman, GS, garanti süresi olmak üzere, birim zaman hesabı denklem (4.9a)'da gösterilmiştir.

$$BZ = \frac{\text{ÇS saat} * GS}{AF} \quad (4.9a)$$

Burada ÇS, yıllık çalışma saati süresidir. ALT yöntemi için yapılan hesaplamalarda kullanılan beyaz eşya karakteristikleri, örnek olarak çamaşır makinesinin, haftalık 10 saat olmak üzere, yıllık 520 saat çalıştığı kabul edilmektedir.

$$BZ = \frac{520 * 3}{10} = 155,3 \text{ saat}$$

Yapılan hesaplamalar ve analizler sonucu belirlenen ürün sayısı 96 olduğunda, TZ, toplam zaman olmak üzere, denklem (4.9b) toplam test süresinin ne kadar olacağını göstermektedir.

$$TZ = BZ * n = 155,3 * 96 = 14.906,9 \text{ saat} \quad (4.9b)$$

Doğruluk değeri ise, ALTA analizinin, belirlenen güven aralığı ve sınırlar oranı değerlerinde kullanılacak olan ürün sayısını doğru oranda optimize ettiği düşünüldüğünde kesin doğruluklu, yani %100 olacaktır.

#### 4.4.2 CALT

CALT için tavsiye edilen test edilecek ürün sayısı her zorlanma düzeyinde 3 ürün olmak üzere toplamda 6 üründür (Paschkewitz, 2009). Daha önce belirlenen arızaya kadar geçen ortalama süre, MTTF, burada birim test süresi ve dolayısıyla toplam test

süresi ile doğrudan ilişkilidir. BZ, birim zaman olmak üzere, birim zaman hesabı denklem (4.10)'da gösterilmiştir.

$$BZ = \text{ÇS saat} * MTTF / AF \quad (4.10)$$

Yıllık ortalama çalışma süresi 520 saat ve MTTF=30 yıl alındığında, bir ürünü test etmek için geçecek zaman bulunur.

$$BZ = \frac{520 * 30}{10} = 1560 \text{ saat}$$

Daha önce belirtilen CALT yönteminde kullanılan diğer 6 ürün de ortalama olarak bu zamanda bozulacağından, TZ, toplam zaman olmak üzere, denklem (4.11) toplam test süresinin ne kadar olacağını göstermektedir.

$$TZ = BZ * n = 1560 * 6 = 9360 \text{ saat} \quad (4.11)$$

Daha önce de belirtildiği üzere belirlenen bir sınır oranları değerine göre MATLAB programında “wblrnd” kodu kullanılarak, sonuçların oran içerisinde çıkıp çıkmadığı kontrol edilerek ve çıkan sonuçların toplam sonuçlara oranlanmasıyla belirli bir doğruluk değeri bulunup bu değer diğer test yöntemiyle karşılaştırılmasına bakılır (Sal, 2015). Bölüm 2.2 ve 2.3'te anlatıldığı üzere, (MTTF+X)/(MTTF-X) değeri 5 olarak kabul edildiğinde ve MTTF değerinin 30 olduğu düşünüldüğünde, X=20 yıl hesaplanmış; ve dolayısıyla alt sınır, 10 yıl, üst sınır ise 50 yıl alınmıştır. Bununla birlikte  $f(t)$  denklemine rastgele sayı ataması için wblrnd kodu kullanıldığında, doğruluk değeri %97 olarak bulunmuştur. Çözümün daha kesin olması için bu işlem farklı gruplarda 100 kez denenmiştir.

#### 4.4.3 Sonuçların karşılaştırılması

Her iki yöntemle belirlenen sonuçlar karşılaştırılmıştır. ALT için yapılan hesaplamalar Bölüm 4.4.1'de verilen formüllere göre her bir parametre değişiminde tekrarlanmıştır. CALT için yapılan hesaplamalarda ise baz olarak, test için kullanılacak ürün sayısı 6 olarak alınmış ve geri kalan hesaplamalar Bölüm 4.4.2'ye göre yapılmıştır. Bu iki test yönteminin karşılaştırılması girdi olarak kullanılan, arıza oranı, garanti süresi, arızaya kadar geçen ortalama süre parametrelerinden her defasında bir tanesi değiştirilip diğerleri sabit tutularak yapılmıştır. Böylece, her iki test yönteminin, birbirlerine göre üstünlük ve sakıncaları farklı parametrelerin kullanımı ile daha iyi görülmüş olacaktır.

Karşılaştırmalar, elektrik ve/veya elektronik ürünler için uygun %10, %1 ve %0,1 arıza oranları dikkate alınarak yapılmıştır.

İlk olarak, daha önce çözümü gösterilen, aşağıdaki değerler dikkate alınarak; %10, %1 ve %0,1 arıza oranları için karşılaştırmalar yapılmıştır.

- MTTF: 30 yıl
- Hızlandırma faktörü: 10
- Garanti Süresi: 3 yıl
- Sınırlar Oranı ~5

**Çizelge 4.1 : %10 arıza oranı ile ALT-CALT karşılaştırılması**

Test Yöntemi	Ürün Sayısı	Doğruluk (%)	Birim Zaman (saat)	Toplam Zaman (saat)
ALT	96,0	~100	155,3	14.906,9
CALT	6,0	~97	1.560,0	9.360,0

**Çizelge 4.2 : %1 arıza oranı ile ALT-CALT karşılaştırılması**

Test Yöntemi	Ürün Sayısı	Doğruluk (%)	Birim Zaman (saat)	Toplam Zaman (saat)
ALT	1.211,0	~100	155,3	188.044,1
CALT	6,0	~50	15.600,0	93.600,0

**Çizelge 4.3 : %0,1 arıza oranı ile ALT-CALT karşılaştırılması**

Test Yöntemi	Ürün Sayısı	Doğruluk (%)	Birim Zaman (saat)	Toplam Zaman (saat)
ALT	15.554,0	~100	155,3	2.415.225,1
CALT	6,0	~14	156.000,0	936.000,0

Garanti süresinin etkisini görmek için, diğer parametreler sabit kalmak üzere, garanti süresi 1 yıla düşürerek aşağıdaki girdilerle hesaplamalar gerçekleştirilerek, sonuçlar karşılaştırılmıştır.

- MTTF: 30 yıl
- Hızlandırma faktörü: 10
- Garanti Süresi: 1 yıl
- Sınırlar Oranı ~5

**Çizelge 4.4 : %10 arıza oranı ile ALT-CALT karşılaştırılması**

Test Yöntemi	Ürün Sayısı	Doğruluk (%)	Birim Zaman (saat)	Toplam Zaman (saat)
ALT	96,0	~100	51,8	4.969,0
CALT	6,0	~97	1.560,0	9.360,0

**Çizelge 4.5 : %1 arıza oranı ile ALT-CALT karşılaştırılması**

Test Yöntemi	Ürün Sayısı	Doğruluk (%)	Birim Zaman (saat)	Toplam Zaman (saat)
ALT	1.211,0	~100	51,8	62.681,4
CALT	6,0	~50	15.600,0	93.600,0

**Çizelge 4.6 : %0,1 arıza oranı ile ALT-CALT karşılaştırılması**

Test Yöntemi	Ürün Sayısı	Doğruluk (%)	Birim Zaman (saat)	Toplam Zaman (saat)
ALT	15.554,0	~100	51,8	805.697,2
CALT	6,0	~14	156.000,0	936.000,0

Arızaya kadar geçen ortalama süre, MTTF değerinin etkisini gözlemleyebilmek için ise, diğer tüm parametreler sabit tutulurken, sadece MTTF değeri değiştirilerek, aşağıdaki girdiler için hesaplama ve kıyaslamalar yapılmıştır.

- MTTF: 10 yıl
- Hızlandırma faktörü: 10
- Garanti Süresi: 3 yıl
- Sınırlar Oranı ~5

**Çizelge 4.7 : %10 arıza oranı ile ALT-CALT karşılaştırılması**

Test Yöntemi	Ürün Sayısı	Doğruluk (%)	Birim Zaman (saat)	Toplam Zaman (saat)
ALT	96,0	~100	155,3	14.906,9
CALT	6,0	~97	488,4	2.930,2

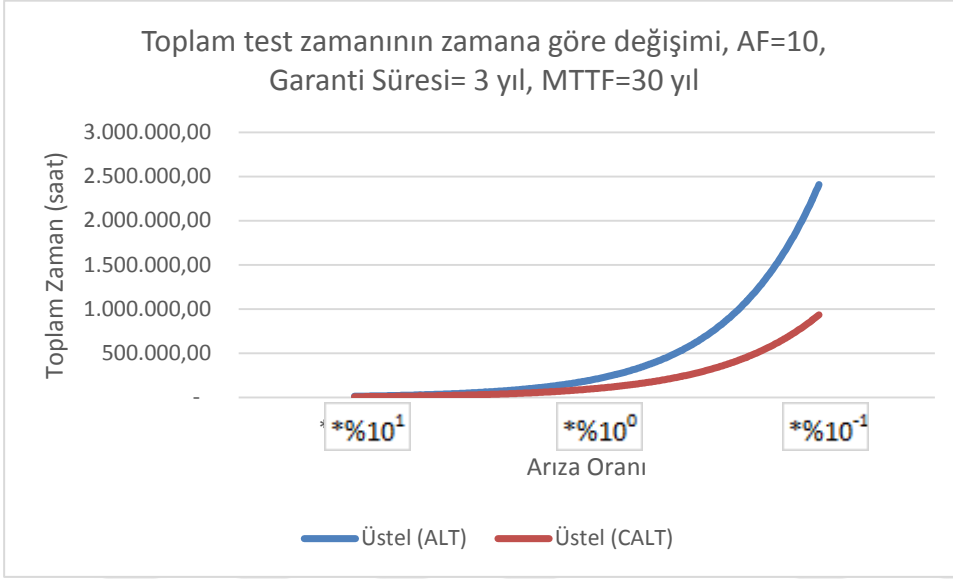
**Çizelge 4.8 : %1 arıza oranı ile ALT-CALT karşılaştırılması**

Test Yöntemi	Ürün Sayısı	Doğruluk (%)	Birim Zaman (saat)	Toplam Zaman (saat)
ALT	1.211,0	~100%	155,3	188.044,1
CALT	6,0	~50%	4.883,7	29.302,1

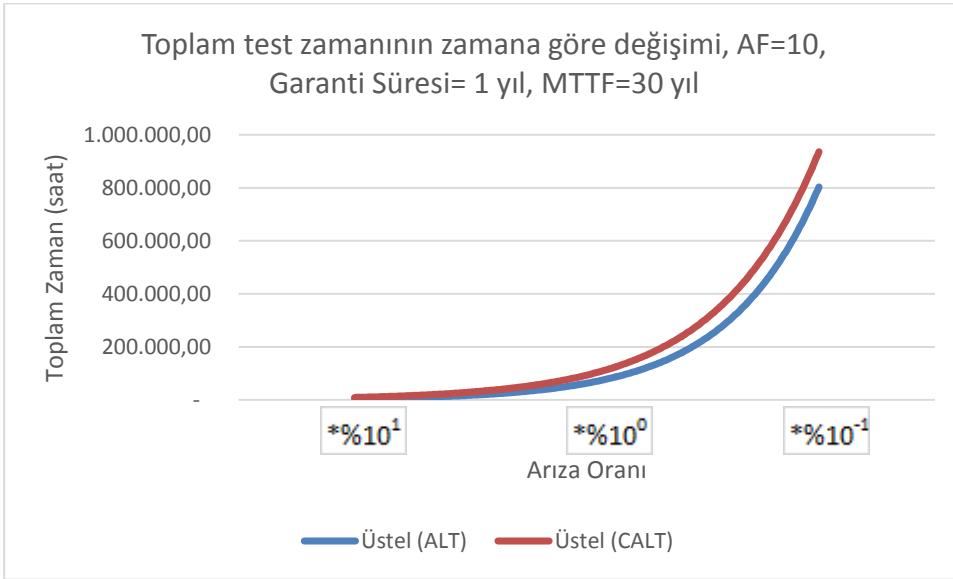
**Çizelge 4.9 : %0,1 arıza oranı ile ALT-CALT karşılaştırılması**

Test Yöntemi	Ürün Sayısı	Doğruluk (%)	Birim Zaman (saat)	Toplam Zaman (saat)
ALT	15.554,0	~100%	155,3	2.415.536,2
CALT	6,0	~14%	48.836,8	293.020,8

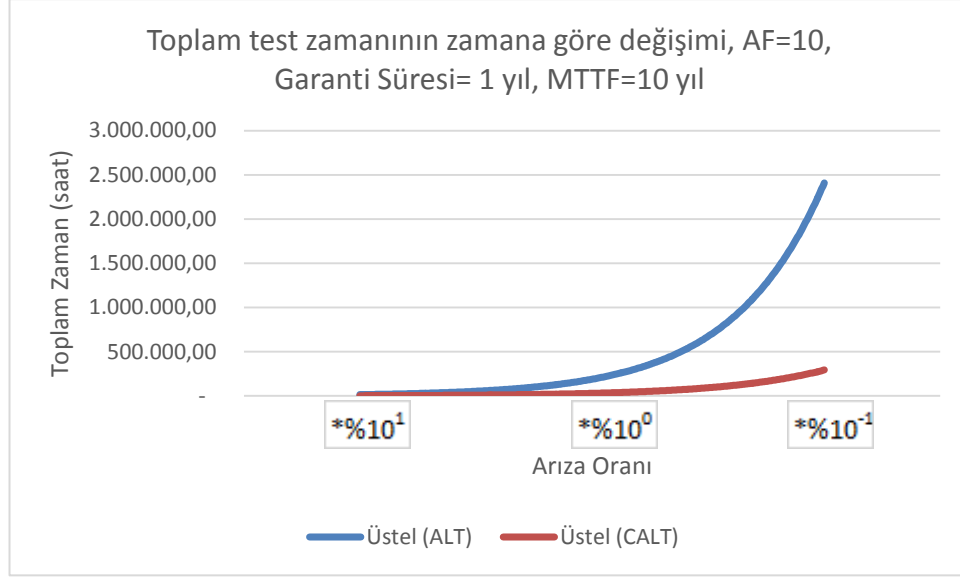
Şekil 4.5-4.7’de, yapılan hesaplamalar sonucu, test zamanının arıza oranı ile nasıl değiştiği gösterilmiştir.



**Şekil 4.5 : Toplam test zamanının arıza oranına göre değişimi**



**Şekil 4.6 : Toplam test zamanının arıza oranına göre değişimi**



**Şekil 4.7 :** Toplam test zamanının arıza oranına göre değişimi

Şekil ve tablolar incelendiğinde, her iki yöntem için de test süresi, arıza oranı azaldıkça artmaktadır. Ancak, birim test zamanı için bu durum söz konusu değildir. ALT yönteminde birim zaman sabit kalmakta, CALT’da ise azalan arıza oranı ile orantılı olarak artmaktadır. Doğruluk açısından bakıldığında, çok daha az test ürünü kullanılan CALT yöntemi, azalan arıza oranları ile birlikte doğruluğunu yitirmektedir. Oysa ALT yönteminde, arıza oranı azaldıkça daha fazla ürün teste alınarak, doğruluk açısından sıkıntı yaşanmamaktadır.

Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 kıyaslandığında, garanti süresini arttırıp azaltmak, ALT yöntemindeki toplam test süresini aynı oranda etkilerken (örnek olarak %10 arıza oranında, garanti süresi 3 yılken ALT 14.906,88 saat sürerken, aynı arıza oranında, garanti süresi 1 yılken 4.968,44 saat sürmektedir.) , hesaplamalar için MTTF değerini kullanan CALT yöntemine herhangi bir etki yaratmamaktadır. Buna karşılık Şekil 4.5 ve 4.7 kıyaslandığında, MTTF değerinin ALT üzerinde bir etkisi olmazken, CALT yöntemine direkt olarak etkisi bulunmaktadır.

Hızlandırma faktörünün etkisini görmek için, diğer tüm parametreler sabit tutularken, hızlandırma faktörünün 20 ve 30 olması durumlarında, %10, %1 ve %0.1 arıza oranları için hesaplanan ürün sayısı, birim zaman ve toplam zaman değerleri Çizelge 4.10 ve 4.11’de verilmiştir.

- MTTF: 30 yıl

- Hızlandırma faktörü: 20
- Garanti Süresi: 3 yıl
- Sınırlar Oranı ~5

**Çizelge 4.10 : 20 hızlandırma faktörü için ALT-CALT karşılaştırılması**

Arıza oranı	Test Yöntemi	Ürün Sayısı	Doğruluk (%)	Birim Zaman (saat)	Toplam Zaman (saat)
%10	ALT	28,0	100,0	77,6	2.173,9
	CALT	6,0	100,0	732,6	4.395,3
%1	ALT	234,0	100,0	77,6	18.167,8
	CALT	6,0	97,0	7.325,5	43.953,1
%0,1	ALT	2.676,0	100,0	77,6	207.764,6
	CALT	6,0	50,0	73.255,2	439.531,2

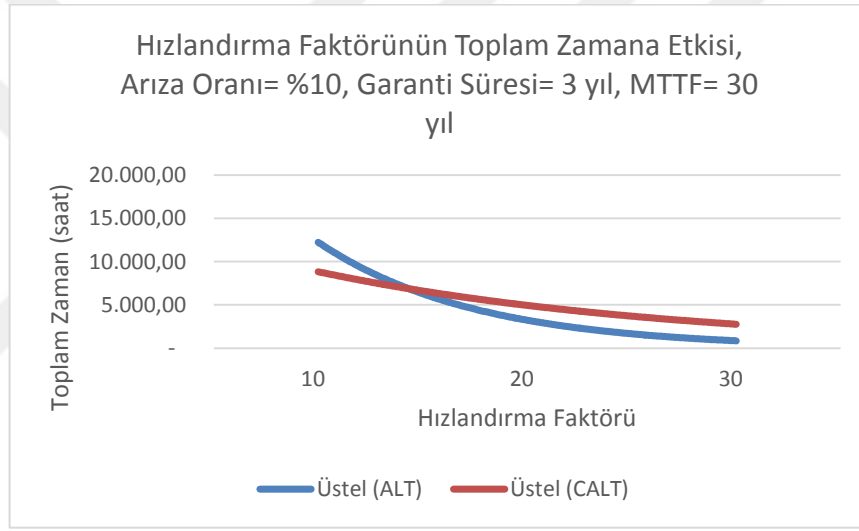
- MTTF: 30 yıl
- Hızlandırma faktörü: 30
- Garanti Süresi: 3 yıl
- Sınırlar Oranı ~5

**Çizelge 4.11 : 30 hızlandırma faktörü için ALT-CALT karşılaştırılması**

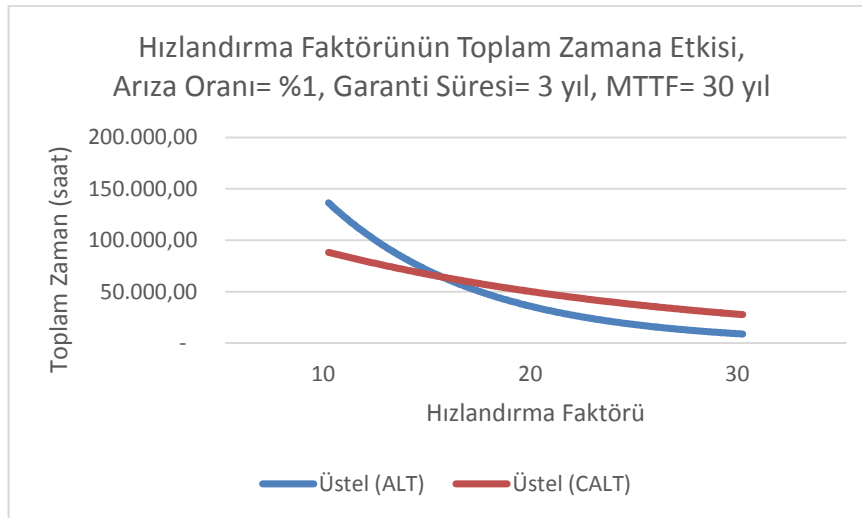
Arıza oranı	Test Yöntemi	Ürün Sayısı	Doğruluk (%)	Birim Zaman (saat)	Toplam Zaman (saat)
%10	ALT	20,0	100,0	51,8	1.035,2
	CALT	6,0	78,0	488,4	2.930,2
%1	ALT	234,0	100,0	51,8	12.111,8
	CALT	6,0	33,0	4.883,7	29.302,1
%0,1	ALT	2.676,0	100,0	51,8	138.509,8
	CALT	6,0	16,0	48.836,8	293.020,8

20 ve 30 hızlandırma faktöründe yapılan bu karşılaştırmalara, daha önceki örnekte ve aynı koşullarda yapılan 10 hızlandırma faktörlü analizi de ekleyerek grafik çizdirildiğinde, toplam test zamanı ile hızlandırma faktörü arasında ilişki daha iyi görülebilmektedir.

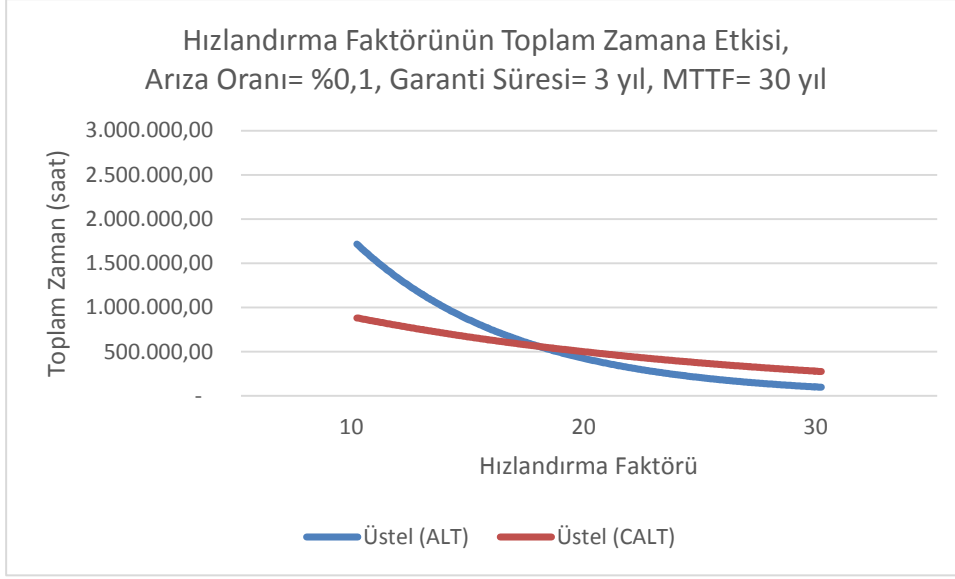
Şekillerden de görüleceği üzere, hızlandırma faktörünün artışı, dayanılması daha zor koşullara getireceğinden, test sürelerini belirli miktarlarda azaltmaktadır. Ancak, hızlandırma faktöründeki artış, ALT yönteminde kullanılan test ürün sayılarını da etkilemektedir. Bunun nedeni, Bölüm 4.4.1’de görüleceği üzere, ALT yönteminin test ürün sayısı hesaplamalarında hızlandırma faktörünün de etkisi olmasıdır. Bununla birlikte, CALT metodunda birim ve toplam test zamanı değerlerinde hızlandırma faktörünün direkt etkisi olmasından dolayı azalma görülmektedir. Önerilen test ürün sayısı 6 olduğundan, bu değerde herhangi bir değişim gözlemlenmezken, hızlandırma faktörünün, hata olasılığı değerlerinde olduğu gibi standart sapmada dolayısıyla sınırlar oranında etkisi bulunduğundan dolayı CALT yönteminin doğruluğu yükselmektedir.



Şekil 4.8 : Hızlandırma faktörü değişiminin toplam zamana etkisi; arıza oranı= %10.



Şekil 4.9 : Hızlandırma faktörü değişiminin toplam zamana etkisi; arıza oranı= %1.



**Şekil 4.10** : Hızlandırma faktörü değişiminin toplam zamana etkisi; arıza oranı= %0,1.

## 5. SAHA VERİLERİNİN ALT-CALT ANALİZİ

Bu bölümde, Bölüm 1’de saha verileri paylaşılan topraklı prizler için Bölüm 4’te geliştirilen ALT ve CALT yöntemleri kullanılarak analiz yapılacak; çeşitli bakış açılarından iki yöntem kıyaslanarak, optimum test yöntemleri araştırılacaktır.

Çizelge 1.1’de paylaşılmış olan 2015 yılına ait kurulu topraklı priz saha verilerinden, toplamda işletmede bulunan 825.126 üründen 25.676 tanesinin gerilim kaynaklı, 11.739 tanesinin ısı kaynaklı ve 4.544 tanesinin mekanik kaynaklı olduğu görülmektedir. Bu verileri kullanarak, (5.1) denklemiyle, her zorlanma için ayrı ayrı arıza oranı hesaplanır.

$$FR = \frac{\text{zorlanmaya göre bozulan ürün sayısı}}{\text{işletmedeki toplam ürün sayısı}} \quad (5.1)$$

FR burada arıza oranını ifade etmektedir. Buna göre, arıza oranları, gerilim kaynaklı %3,112, sıcaklık kaynaklı %1,301 ve mekanik kaynaklı %0,551 olarak ortaya çıkmaktadır. Burada, diğer olarak belirtilen arızalar, kök nedeni bilinmediğinden, hesaplamalara dahil edilmemiştir.

Buna göre denklem (5.1) yardımıyla Çizelge 1.2 ve Çizelge 1.3’te bulunan saha verilerini çözümlediğimizde, 2014 yılı için arıza oranları, gerilim kaynaklı %3,06, sıcaklık kaynaklı %1,32 ve mekanik kaynaklı %0,47 çıkarken, 2013 yılı için ise, gerilim kaynaklı arıza oranı %3,38, sıcaklık kaynaklı arıza oranı %1,57 ve mekanik kaynaklı arıza oranı ise %0,89 bulunmuştur.

Ürün herhangi bir değişikliğe uğramadığı ve 3 yıl için de işletmede kaldığı noktalar birbirine çok yakın (konut, hastane, hotel gibi herhangi bir farklı özelliği bulunmayan uygulamalar) ve hemen hemen aynı dağılımı gösterdiğinden, ürünün ömrü için ortalamayı kullanmak daha doğru olacaktır. Buna göre, Çizelge 1.1, Çizelge 1.2 ve Çizelge 1.3 kullanıldığında ağırlıklı ortalama, 3 yıl içerisindeki toplam 2.204.208 adet üründen, 69.838 adedi gerilim kaynaklı, 30.483 adedi ısı kaynaklı ve 13.653 adedi ise mekanik kaynaklı arıza ile bozulmaktadır.

Denklem (5.1) yardımıyla, gerilim kaynaklı arızalar toplam ürünlerden %3,17'sini, ısı kaynaklı hatalar %1,38'ini ve mekanik kaynaklı hatalar %0.62'sini oluşturmaktadır.

## 5.1 Güvenilirlik Parametrelerinin Hesabı

### 5.1.1 Hızlandırma faktörü

ALT ve CALT analizi için, belirlenmesi gereken en önemli büyüklük hızlandırma faktörüdür. Topraklı priz yapımında kullanılan malzeme ASA (Acylonitrile Styrene Acylate) olup, bu malzeme için kullanılan ISO 527-2 ve ISO 306 standartlarına göre, ürünün bozulma sıcaklığı 105 °C'dır. Buna göre, denklem (4.3) ve Çizelge 3.1'in yardımıyla,  $E_a$ , aktivasyon enerjisi,  $T_{field}$ , cihazın sahada çalıştığı normal sıcaklığı,  $T_{test}$ , belirlenen aşırı test sıcaklığı olarak düşünülürse, ve bunların değeri, aktivasyon enerjisi, Çizelge 3.1'den,  $E_a=0,3$  eV,  $T_{field}=298$  °K,  $T_{test}=378$  °K ve Boltzmann sabiti,  $k=8,617 \times 10^{(-5)}$  eV/°K olarak düşünüldüğünde;

$$AF_T = \exp \left( \frac{0,3}{8,617 \times 10^{(-5)}} \right) * \frac{1}{378-298} = 11,67 \quad (5.2)$$

olarak hesaplanır. Titreşim için, çekme gerilme zorlanması göz önüne alınmakta; bu malzeme için ise çekme gerilmesi, normal koşullarda 4930 psi ve aşırı zorlanma durumunda 8270 psi alınarak, (3.7) eşitliği ile,

$$AF_t = \frac{T_S}{T_0}^\beta = \frac{8270}{4930}^{4,7} = 11,373 \quad (5.3)$$

olarak hesaplanır. Gerilim için ise, Çizelge 3.2 ve denklem (3.4)'ün yardımıyla ve maksimum çalışma geriliminin 250 VAC olduğu düşünüldüğünde;

$$AF_v = \frac{V_S}{V_0}^\beta = \frac{250}{220}^{15} = 6,8 \quad (5,4)$$

olarak hesaplanır.

### 5.1.2 Arıza olasılık değerlerinin hesaplanması

Arıza olasılık değerlerinin hesaplanması ALT yöntemini ilgilendiren bir durumdur ve burada amaç program yardımı ile test edilecek ürün sayılarının hesaplanmasıdır.

### 5.1.2.1 Sıcaklık profilindeki arıza olasılık değerleri

Arrhenius modeli kullanılan denklem (5.2) göz önüne alındığında, denklem (4.5), (4.6), (4.7) ve (4.8)'in yardımıyla, gözlem süresi 4000 saat (yaklaşık 2 yıl) ve sıcaklık kaynaklı arızalar, %1,38 aynı zamanda test için ayrılan süre 2160 saat; 3 ay (öngörülen test zamanı) olduğu düşünüldüğünde,

$$R_{t=4000 \text{ saat}} = 1 - 0,0138 = 0,9862 = \exp - \frac{4000^3}{\eta}$$

$$\eta_1 = 16.637,79 \text{ saat}$$

$$\eta_2 = \frac{\eta_1}{AF_T} = \frac{16.637,79}{11,67} = 1.425,69 \text{ saat}$$

$$\begin{aligned} Q_1 t &= 1 - R_1 t = 1 - \exp - \frac{t^\beta}{\eta_1} \\ &= 1 - \exp - \frac{2160^3}{16.637,79} = \% 0,219 \end{aligned} \quad (5.5)$$

$$\begin{aligned} Q_2 t &= 1 - R_2 t = 1 - \exp - \frac{t^\beta}{\eta_2} \\ &= 1 - \exp - \frac{2160^3}{1.425,689} = \% 96,912 \end{aligned} \quad (5.6)$$

### 5.1.2.2 Mekanik profildeki arıza olasılık değerleri

Mekanik profil için, denklem (3.7) göz önüne alındığında, denklem (4.5), (4.6), (4.7) ve (4.8)'in yardımıyla, gözlem süresi 4000 saat (yaklaşık 2 yıl) ve mekanik (titreşim) kaynaklı arızalar, %0,62 aynı zamanda test için ayrılan süre 2160 saat olduğu düşünüldüğünde,

$$R_{t=4000 \text{ saat}} = 1 - 0,0062 = 0,9938 = \exp - \frac{4000^3}{\eta} \Rightarrow$$

$$\eta_1 = 21.751,01 \text{ saat}$$

$$\eta_2 = \frac{\eta_1}{AF_t} = \frac{21.751,01}{11,373} = 1.912,513 \text{ saat}$$

$$Q_1 t = 1 - R_1 t = 1 - \exp - \frac{t^\beta}{\eta_1}$$

$$= 1 - \exp - \frac{2160}{21.751,01}^3 = \% 0,098 \quad (5.7)$$

$$Q_2 t = 1 - R_2 t = 1 - \exp - \frac{t}{\eta_2}^\beta$$

$$= 1 - \exp - \frac{2160}{1.912,513}^3 = \% 76,322 \quad (5.8)$$

### 5.1.2.3 Gerilim profilindeki arıza olasılık değerleri

Gerilim profili arıza oranı için, denklem (3.7) göz önüne alındığında, denklem (4.5), (4.6), (4.7) ve (4.8)'in yardımıyla, gözlem süresi 4000 saat (yaklaşık 2 yıl) ve gerilim kaynaklı arızalar, %3,17 aynı zamanda test için ayrılan süre 2160 saat olduğu düşünüldüğünde,

$$R t = 2000 \text{ saat} = 1 - 0,0317 = 0,9683 = \exp - \frac{4000}{\eta}^3 \Rightarrow$$

$$\eta_1 = 12.557,93 \text{ saat}$$

$$\eta_2 = \frac{\eta_1}{AF_t} = \frac{12.557,93}{6.8} = 1.846,755 \text{ saat}$$

$$Q_1 t = 1 - R_1 t = 1 - \exp - \frac{t}{n_1}^\beta$$

$$= 1 - \exp - \frac{2160}{12.557,93}^3 = \% 0,508 \quad (5.9)$$

$$Q_2 t = 1 - R_2 t = 1 - \exp - \frac{t}{n_2}^\beta$$

$$= 1 - \exp - \frac{2160}{1.846,755}^3 = \% 79,811 \quad (5.10)$$

### 5.1.3 MTTF değerlerinin hesaplanması

Her bir hesaplama için gözlem süresi 2 yıl olduğundan, bu süre aynı zamanda garanti süresine de eşit olduğundan, denklem (4.2)'nin yardımıyla; daha önceki bölümde hesaplanan zorlanmaya bağlı arıza oranları;

- Gerilim kaynaklı arıza oranı; %3,17

$$R_{2 \text{ yıl}} = 1 - 0,0317 = 0,9682 = \exp\left(-\frac{2}{MTTF_v}\right)$$

$$MTTF_v = 61,88 \text{ yıl} \quad (5.11)$$

- Isı kaynaklı arıza oranı; %1,38

$$R_{2 \text{ yıl}} = 1 - 0,0138 = 0,9862 = \exp\left(-\frac{2}{MTTF_s}\right)$$

$$MTTF_s = 143,92 \text{ yıl} \quad (5.12)$$

- Mekanik kaynaklı arıza oranı; %0,62 olarak düşünüldüğünde,

$$R_{2 \text{ yıl}} = 1 - 0,0062 = 0,9938 = \exp\left(-\frac{2}{MTTF_t}\right)$$

$$MTTF_t = 321,5 \text{ yıl} \quad (5.13)$$

## 5.2 ALT Analizi

### 5.2.1 Isıl zorlanma

Isıl zorlanma için, Bölüm 5.1.2.1’de denklem 5.5 ve 5.6’da bulunan arıza olasılık değerlerine göre;  $P_1=0,219$  ve  $P_2=96,912$  ALTA programına girdi değerlerinden bazılarıdır. Ayrıca, Bölüm 4.4.1’de de anlatıldığı üzere, şekil faktörü  $\beta=3$  olan Weibull dağılımı, elektrik ve elektronik cihazları için en çok kullanılan arıza yoğunluk fonksiyonu olarak programa girilmiştir.

A	B	C	D
6 Available Test Time	2160		
7 Lifetime Distribution	Weibull		
8 Beta	3		
9			
10 <b>Stress1</b>			
11 Life-Stress Relationship	Arrhenius		
12 Use Stress Value	298		
13 Maximum Stress Value	378		
14			
15 <b>Probabilities of Failure (%) at Time=2160</b>			
16 P(Time, Use Stress)	0,219		
17 P(Time, Maximum Stress)	96,912		
18			
19 <b>Recommended Test Plan</b>			
20			
21 <b>Stress Level</b>	<b>Stress Value</b>	<b>Unit Allocation (%)</b>	<b>Probability of Failure</b>
22 Low Stress Level	344,941205	72,6	0,221565
23 High Stress Level	378	27,4	0,96912
24			
25 <b>BX% Life Estimate</b>			
26 Time at Which Unreliability (Tp)=10%	7853,073817		

Şekil 5.1 : Isıl zorlanma için tavsiye edilen ALT planı

Sınırlar oranı 2 ve güven düzeyi 0,95 seçiliip, test edilecek ürün sayısı da hesaplanırsa;

TEST PLAN

β  
η  
σ  
μ

Generate Test Plan

**Evaluate Test Plan**

Solve for Sample Size

Confidence Level

Bounds Ratio

---

Sample Size

Şekil 5.2 : Isıl zorlanma için ürün sayısı hesabı

253 olarak bulunur. Garanti süresinin 2 yıl olduğu bilinmektedir. Denklem (4.9a) ve (5.4) kullanılarak topraklı prizler için günlük 5 saat (haftalık 35 saat ve yıllık 1820 saat) alındığında, birim zaman olarak,

$$BZ = \frac{\text{ÇS} * GS}{AF} = \frac{1820 * 2}{11,67} = 311,91 \text{ saat}$$

hesaplanır. Toplam zaman için, test edilecek ürün sayısının 253 olduğu dikkate alınır,

$$TZ = BZ * n = 311,91 * 253 = 78.913,45 \text{ saat olarak bulunur.}$$

Doğruluk değeri ise, ALTA analizinin, belirlenen güven aralığı ve sınırlar oranı için, kullanılması gerekli ürün sayısını doğru optimize ettiği düşünülürse %100 olur.

### 5.2.2 Mekanik zorlanma

Mekanik zorlanma için, Bölüm 5.1.2.2’de denklem 5.7 ve 5.8’de bulunan arıza olasılık değerlerine göre;  $P_1=0,098$  ve  $P_2=76,322$ , ALTA programına girdi değerlerinden bazılarıdır. Yine, Weibull dağılımı  $\beta$  parametresi 3 alınarak işleme sokulmuştur.

A	B	C	D
1	<b>Test Plan Inputs</b>		
2			
3	Number of Simultaneous Stresses	1	
4	Test Plan Type	2 Level Statistically Optimum Plan	
5	BX% Life Estimate Sought	10	
6	Available Test Time	2160	
7	Lifetime Distribution	Weibull	
8	Beta	3	
9			
10	<b>Stress1</b>		
11	Life-Stress Relationship	Exponential	
12	Use Stress Value	4930	
13	Maximum Stress Value	8270	
14			
15	<b>Probabilities of Failure (%) at Time=2160</b>		
16	P(Time, Use Stress)	0,098	
17	P(Time, Maximum Stress)	76,322	
18			
19	<b>Recommended Test Plan</b>		
20			
21	<b>Stress Level</b>	<b>Stress Value</b>	<b>Unit Allocation (%)</b>
22	Low Stress Level	7197,86	69,9
23	High Stress Level	8270	30,1
24			
25	<b>BX% Life Estimate</b>		
26	Time at Which Unreliability (Tp)=10%	10269,12384	

Şekil 5.3 : Mekanik zorlanma için tavsiye edilen ALT planı

Sınırlar oranı yine 2 olarak seçilir ve %95 güven düzeyi için hesap yapılırsa, test edilecek ürün sayısı olarak,

**Şekil 5.4 :** Mekanik zorlanma için ürün sayısı hesabı

593 bulunur. Denklem (4.9a) ve (5.3) kullanılarak ve yine garanti süresi için 2 yıl, toplam çalışma süresi için 1820 saat alınır, birim zaman,

$$BZ = \frac{\text{ÇS} * GS}{AF} = \frac{1820 * 2}{11,373} = 320,0563 \text{ saat}$$

Bulunur. Toplam zaman için, test edilecek ürün sayısının 593 olduğu düşünülerek,

$$TZ = BZ * n = 320,0563 * 593 = 189.793,4 \text{ saat olarak bulunur.}$$

Doğruluk değeri ise, yine benzer nedenlerle %100 olur.

### 5.2.3 Gerilim zorlanması

Gerilim zorlanması için, Bölüm 5.1.2.3’de denklem 5.9 ve 5.10’da bulunan arıza olasılık değerlerine göre;  $P_1=0,508$  ve  $P_2=0,79,811$ , ALTA programına girdi değerlerinden bazılarıdır. Yine, Weibull dağılımı  $\beta$  parametresi 3 alınarak işleme sokulmuştur.

A	B	C	D
<b>Test Plan Inputs</b>			
1			
2			
3	Number of Simultaneous Stresses	1	
4	Test Plan Type	2 Level Statistically Optimum Plan	
5	BX% Life Estimate Sought	10	
6	Available Test Time	2160	
7	Lifetime Distribution	Weibull	
8	Beta	3	
9			
<b>Stress1</b>			
11	Life-Stress Relationship	Exponential	
12	Use Stress Value	220	
13	Maximum Stress Value	250	
14			
<b>Probabilities of Failure (%) at Time=2160</b>			
16	P(Time, Use Stress)	0,508	
17	P(Time, Maximum Stress)	79,811	
18			
<b>Recommended Test Plan</b>			
21	<b>Stress Level</b>	<b>Stress Value</b>	<b>Unit Allocation (%)</b>
22	Low Stress Level	237,52	74,1
23	High Stress Level	250	25,9
24			
<b>BX% Life Estimate</b>			
26	Time at Which Unreliability (Tp)=10%	5929,571718	

Şekil 5.5 : Gerilim zorlanması için tavsiye edilen ALT planı

Diğer iki profilde olduğu gibi gerilim profilinde de sınırlar oranı 2 olarak işlem yapılmıştır.

**TEST PLAN**

Generate Test Plan

**Evaluate Test Plan**

Solve for: Sample Size

Confidence Level: 0,95

Bounds Ratio: 2

Sample Size: 296,82618

Şekil 5.6 : Gerilim profili için ürün sayısı hesabı

Böylelikle test edilecek ürün sayısı 297 olarak bulunmuştur. Denklem (4.9a) ve (5.11) kullanılarak ve sıcaklık profilindeki girdilerin garanti süresi için 2 yıl toplam çalışma süresi için 1820 saat olduğu bilinerek işleme katılmıştır.

$$BZ = \frac{\text{ÇS} * GS}{AF} = \frac{1820 * 2}{6,8} = 535,2941 \text{ saat}$$

Toplam zaman için de denklem (4.9b) de kullanılarak ürün sayısı da 297 olduğu düşünülerek,

$$TZ = BZ * n = 535,2941 * 297 = 158.982,4 \text{ saat olarak bulunur.}$$

Doğruluk değeri ise, yine aynı gerekçelerle %100 olacaktır.

### 5.3 CALT Analizi

#### 5.3.1 Birim test zamanı ve toplam test zamanlarının hesaplanması

Gerilim kaynaklı arızalar için Bölüm 4.4.2’de anlatıldığı üzere, denklem (4.10) ve sonuç (5.4) ve (5.11)’in de yardımıyla, çalışma süresi olarak, günlük 5 saat üzerinden, haftada 35 saat ve yılda ise 1820 saat olarak alındığında,

$$BZ = \frac{\text{ÇS saat} * MTTFv}{AFv} = \frac{1820 * 61,88}{6,8} = 16.562 \text{ saat olarak bulunur.}$$

Toplam zaman için ise CALT yönteminde kullanılan ürün sayısı 6 olduğundan;

$$TZ = BZ * n = 16.562 * 6 = 99.372 \text{ saat olarak bulunur.}$$

Sıcaklık kaynaklı arızalar için Bölüm 4.4.2’de anlatıldığı üzere, denklem (4.10) ve sonuç (5.2) ve (5.12)’in de yardımıyla, yine aynı günlük çalışma süresi için, birim zaman

$$BZ = \frac{\text{ÇS saat} * MTTFs}{AFs} = \frac{1820 * 143,92}{11,67} = 22.445 \text{ saat olarak bulunur.}$$

Toplam zaman ise,

$$TZ = BZ * n = 22.445 * 6 = 134.670 \text{ saat olarak bulunur.}$$

Mekanik kaynaklı arızalar için Bölüm 4.4.2’de anlatıldığı üzere, denklem (4.10) ve sonuç (5.3) ve (5.13)’ün de yardımıyla, topraklı prizler için yine günlük ortalama 5 saat çalışma süresi için,

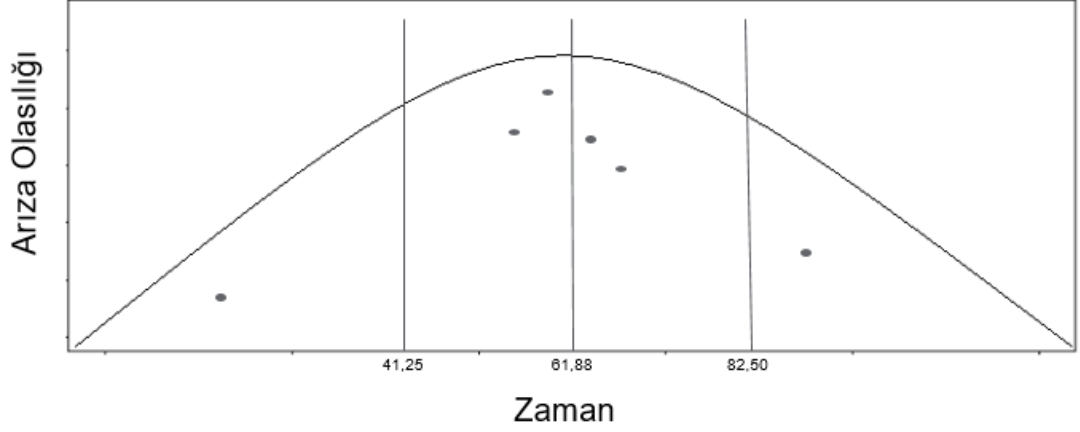
$$BZ = \frac{\text{ÇS saat} * MTTFt}{AFt} = \frac{1820 * 321,5}{11,373} = 51.449 \text{ saat olarak bulunur.}$$

Toplam zaman için ise,

$$TZ = BZ * n = 51449 * 6 = 308.694 \text{ saat olarak bulunur.}$$

### 5.3.2 Profillerdeki doğruluklar

Gerilim zorlanması belirlenen sınırlar oranı için, MATLAB programında “wblrnd” koduyla  $\beta$  parametresi 3 alınarak rastgele sayılar atanmış, bunların dağılımı Excel programıyla gösterilmiştir. Bu çözümlerden, belirtilen sınırlar oranı içerisinde kalan çözümler doğru, dışarda kalan çözümler yanlış olarak atanarak bir doğruluk oranı belirlenmiştir.

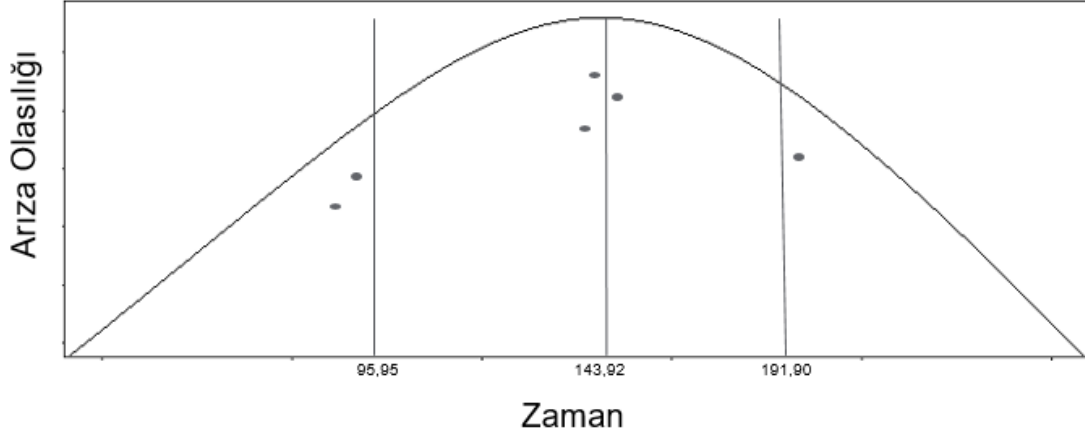


Şekil 5.7 : Gerilim profili için CALT örnekleri

Görüldüğü üzere kullanılan 6 örnekten 4’ü sınırlar içinde kalmıştır. Bunun nedeni, daha önce de anlatıldığı üzere, ilk 2 örneğin aşırı zorlanmış koşullarda (yüksek gerilimlerde) teste sokulduğu için hızlı bir şekilde arıza göstermesi ve son 2 örneğin ise diğer 2 profile nazaran daha az zorlanma (daha düşük gerilim) koşullarında test sokulduğu için daha geç arıza göstermesidir. Bu değerlere göre doğruluk oranı,

$$\text{Doğruluk} = \frac{\text{Sınırlar oranı içerisinde kalan ürün sayısı}}{\text{Toplam ürün sayısı}} = \frac{4}{6} = \%66,67$$

Sıcaklık zorlanması için de aynı girdiler parametre olarak kabul edilerek işlem yapılmış ve aynı kod kullanılarak yapılan çözümlerin ne kadarının sınırlar oranı içerisinde kaldığı araştırılmıştır.

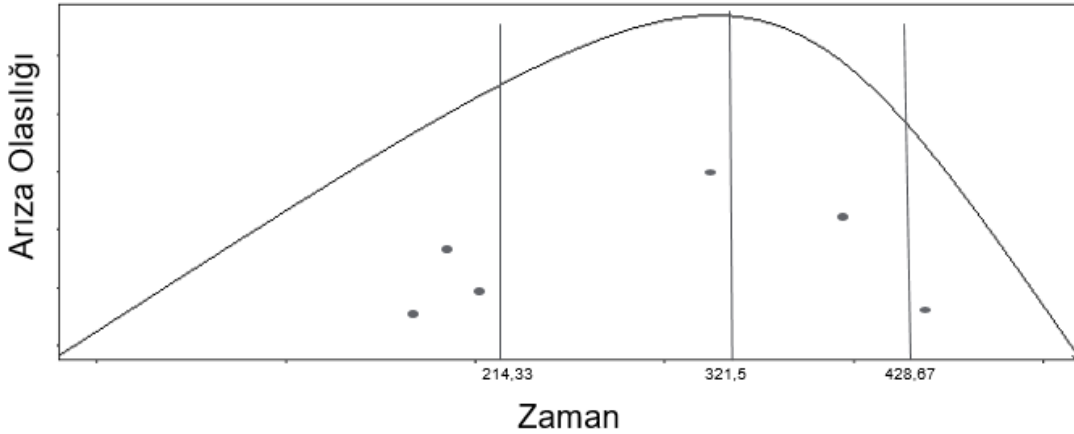


**Şekil 5.8 :** Sıcaklık profili için CALT örnekleri

Şekil 5.8'den de görüleceği üzere, 6 örnekten 3 tanesi sınırlar içerisinde kalmıştır. Bunun nedeni, ALT yönteminde de MTTF değeri arttıkça Weibull grafiğinin sınırlar oranını sağlayan kısmı daha dik hale gelmekte ve ürün sayısını arttırmaktadır. Burada ise 6 adet ürün kullanılacağı için sadece 3 tanesi sınırlar oranı içerisinde kalmıştır. Bu değerlere göre doğruluk oranı,

$$\text{Doğruluk} = \frac{\text{Sınırlar oranı içerisinde kalan ürün sayısı}}{\text{Toplam ürün sayısı}} = \frac{3}{6} = \%50$$

bulunmuştur. Mekanik profilde de aynı işlemler tekrarlanılarak belirlenen MTTF değerine göre Weibull grafiği çizdirilmiş ve bu grafiğe göre sınırlar oranı içerisinde kalan sonuçlar belirlenmiştir (Şekil 5.9).



**Şekil 5.9 :** Mekanik profil için CALT örnekleri

Mekanik profilde de, sıcaklık profilinde olduğu gibi MTTF değeri arttıkça sınırlar oranı arasında kalan daha keskinleşmiştir. Bu nedenle 6 üründen 2 tanesi sınırlar oranı değerleri arasında kalabilmiştir. Buna göre doğruluk hesaplanmıştır.

$$\text{Doğruluk} = \frac{\text{Sınırlar oranı içerisinde kalan ürün sayısı}}{\text{Toplam ürün sayısı}} = \frac{2}{6} = \%33,34$$

#### 5.4 Sonuçların Karşılaştırılması

Her iki test yöntemi; hesaplanan ürün sayısı, doğruluk, birim zaman ve toplam zaman değerleri dikkate alınarak, sıcaklık, gerilim ve mekanik zorlanmalar açısından karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Çizelge 5.1-5.3 de verilmiştir.

**Çizelge 5.1 :** Sıcaklık profilinde ALT-CALT karşılaştırılması

Sıcaklık	Ürün Sayısı	Doğruluk	Birim Zaman	Toplam Zaman
ALT	253,0	~%100	311,9	78.913,2
CALT	6,0	~%50	22.445,0	134.670,0

**Çizelge 5.2 :** Mekanik profilde ALT-CALT karşılaştırılması

Mekanik	Ürün Sayısı	Doğruluk	Birim Zaman	Toplam Zaman
ALT	593,0	~%100	320,1	189.793,4
CALT	6,0	~%33,34	51.449,0	308.694,0

**Çizelge 5.3 :** Gerilim profilinde ALT-CALT karşılaştırılması

Gerilim	Ürün Sayısı	Doğruluk	Birim Zaman	Toplam Zaman
ALT	297,0	~%100	535,3	158.982,3
CALT	6,0	~%66,67	16.562,0	99.372,0

Çizelge 5.1 ve 5.2’de ALT yöntemi doğruluk ve zaman açısından CALT yönteminin önüne geçmiştir. Bu nedenle topraklı prizlerin sıcaklık ve mekanik zorlanmalarla test edilmek istenirse, yüksek doğruluk ve daha kısa zamanda sonuç alındığı için ALT yöntemi tercih edilebilir. Ancak Çizelge 5.3’ten görüleceği üzere, gerilim zorlanması açısından, CALT yöntemi için gereken süre ALT yöntemine göre daha küçüktür. Bunun yanında, ALT yöntemindeki doğruluk daha yüksektir. Burada karar verici etken doğruluğun ne kadar istendiğine veya maliyete göre değişebilmektedir. Eğer doğruluk ön planda ise, 297 ürünle daha uzun sürede ve tabii ki daha yüksek maliyetle sonuç veren ALT yöntemi; yok eğer süre ve maliyet önemli ise, %67’lik bir doğrulukla sonuç veren CALT yöntemi tercih edilir.



## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çok uzun yıllardır kullanılan klasik ALT yöntemi, yakın zamanda ortaya çıkan CALT yöntemi ile literatürde ilk kez kıyaslanmıştır. ALT yönteminin yüksek doğruluğu, kullanılan ürün sayısı ile birleştiğinde iyi sonuçlar vermektedir. Ancak CALT yönteminin düşük sayıda ürün kullanımı da bazı durumlarda tercih edilebilmektedir. Bu durumlarda, istenilen doğruluk, arıza oranı gibi parametreler kontrol edilmelidir. Belirtilen parametrelerin sonuçları destekleyecek nitelikte olması gerekmektedir. İstenilen doğruluk yüksek olduğu zaman, CALT yönteminde, yöntemin uygulanışı gereğince, test edilecek ürün sayısı arttırılamayacağından, ALT yönteminde kullanılacak ürün sayısı belirlenerek karşılaştırılma yapılmalıdır.

Bu çalışmada, CALT yönteminin kullanımının sadece ürün sayısına bağlı kalınarak olmayacağı, doğruluk faktörünün de işin içine girmesiyle, daha yüksek ürün sayısına rağmen, ALT yönteminin kullanılabilirliğini gösterilmiştir. Her iki yöntemden hangisinin seçileceği ile ilgili bir diğer önemli parametre ise sınırlar oranıdır. Arızanın hangi sınırlar içerisinde gerçekleşeceğini belirtmek gerekmektedir. Daha sonra, test edilen ürünlerden, bu oran içerisinde arıza gösteren ürünlerin toplam teste sokulan ürünlere oranı da doğruluğu vermektedir. Üst sınır ve alt sınır MTTF değerine yaklaştıkça ALT daha üstün gelebilmektedir. Ancak MTTF değerinden uzaklaştığında CALT yöntemi ALT yönteminin önüne geçebilmektedir.

Bu parametreler değişik örneklerle ALT ve CALT yöntemi için birbirleriyle karşılaştırılmıştır. CALT yönteminde kullanılan ürün sayısı, yöntemin uygulaması dolayısıyla, kısıtlandığından, bu yöntemde ürün sayısı için herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Ancak farklı parametrelerin etkisiyle, ALT yöntemindeki ürün sayısı değişebildiği için, buradaki parametreler değiştirilerek, bu parametrelerin, test sırasında kullanılacak olan ürün sayısına etkisi araştırılmıştır. Bunun sonucunda, bu parametreleri kullanarak, ALT için, farklı ürün sayılarında örnekler de gösterilmiştir.

Tüm bu parametrelerin değişimi ile CALT ve ALT yöntemi topraklı prizler için karşılaştırılmış, istenilen doğruluk oranı ve güven aralığında sıcaklık ve mekanik dayanım için ALT yöntemi kuşkusuz daha öndeyken, gerilim profili için istenilen

doğruluk oranının belirlenmesiyle bir seçim yapılabileceği ortaya konmuştur. Topraklı prizler için kullanılan saha verileri Türkiye’de de üretim yapmaya devam eden uluslararası bir firmadan alınan ve garanti süresi; iki yıl boyunca gözlemlenen ürünlerdir. Dolayısıyla, farklı firmaların topraklı prizleri tasarım olarak büyük farklılıklar içermediğinden, bu saha verileri ilerdeki topraklı priz çalışmaları için kullanılabilir.

Gelecek çalışmalar için, ALTA programı yerine, uygulanan hesaplamalar ile matematiksel bir model oluşturmak mümkündür. Bu model, farklı zorlanmalarda ürün test sayısı, birim zaman ve toplam zaman değerlerini verebilecek kapasitede olduğunda, topraklı prizler dışında da tüm ürünlerde bu karşılaştırma uygulanabilecektir. Dolayısıyla, herhangi bir teste başlamadan önce bu analizin yapılması, kişileri veya firmaları, büyük miktarda test masrafı yapmaktan kurtaracaktır. Aynı zamanda firmalar, bu optimizasyon sayesinde hangi alt parçalar için hangi testi seçeceğini bilebilecek ve yüksek doğruluklu sonuçlar elde edebilecektir.

## KAYNAKLAR

- Alpha and Omega Semiconductor**, (2010). *Power Semiconductor Reliability Handbook*, Sunnyvale, CA, USA: Alpha and Omega Semiconductor.
- Akbulut, M. A.**, (2014). *Yaratıcı problem tekniğinin (TRIZ) elektrik prizleri için tasarım alanına uygulanması* (Yüksek Lisans tezi). Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Babrauskas, V.** (2001). How do electrical wiring faults lead to structure ignitions?, *Proc. Fire and Materials Conference*,(pp.39-51). Interscience Communications Ltd., London, June 21-24.
- Beland, B.** (1982). Considerations on arcing as a fire cause, *Fire Technology*, 18, 188-202.
- Bui, M.** (2017). The Arrhenius Law: Activation Energies. <https://chem.libretexts.org>. Retrieved November, 15, 2017, from [https://chem.libretexts.org/Core/Physical\\_and\\_Theoretical\\_Chemistry/Kinetics/Modeling\\_Reaction\\_Kinetics/Temperature\\_Dependence\\_of\\_Reaction\\_Rates/The\\_Arrhenius\\_Law/The\\_Arrhenius\\_Law%3A\\_Activation\\_Energies](https://chem.libretexts.org/Core/Physical_and_Theoretical_Chemistry/Kinetics/Modeling_Reaction_Kinetics/Temperature_Dependence_of_Reaction_Rates/The_Arrhenius_Law/The_Arrhenius_Law%3A_Activation_Energies).
- Denson, W. K.** (1996). A Reliability Model for Plastic-encapsulated Microcircuits, *42nd Annual Meeting*,(pp.89-96) Institute of Environmental Sciences Proceedings.
- Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği, (2004). T.C. Resmi Gazete, Madde 18, 16 Haziran 2004.**
- Giacomo, G., Ahmed, U.** (2000). CBGA and C4 fatigue dependence on thermal cycle frequency. *Advanced Packaging Materials: Processes*, Braselton, GA, USA: August 8-8.
- Glasstone, S., Laidler, K. J., Eyring H.E.** (1941). The Theory of Rate Processes. *Journal of Chemical Education*, 19 (5), 249.
- Guo, H., Pohl, E., Gerokostopoulos, A.**, (2013). Determining the Right Sample Size for Your Test: Theory and Application. *Annual RELIABILITY and MAINTAINABILITY Symposium*, Orlando, Florida, USA, January 28-31.
- Guo, H., Pan, R.**, (2008). On Determining Sample Size and Testing Duration of Repairable System Test, *Annual RELIABILITY and MAINTAINABILITY Symposium*, Las Vegas, Nevada, USA, January 28-31.
- Gürlek, G.**, (2007). *Kısa Süreli Gerilim Düşümlerinin Endüstriyel Yüklerdeki Etkileri* (Yüksek Lisans tezi). Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

- Herrmann, W. & Bogdanski, L.**, (2011). Outdoor weathering of PV modules – Effects of various climates and comparison with accelerated laboratory testing, *The 37th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, (pp.2305-2311). Seattle, Washington, USA : June 19-24.
- Hobbs, G. K.**, (2000). *Accelerated Reliability Engineering*, Michigan, USA: John Wiley & Sons Inc.
- Kececioglu, D. & Sun, F. B.**, *Burn-In Testing – Its Quantification and Optimization*, New Jersey, USA: Prentice Hall PTR.
- Kinoshita, K., Hagiwara, T., Kinbara, J.**, (1978). Ignitability of VVF Cable in Contact with Grounded Object, *J. Japanese Assn. Fire Science & Engrg.*, 28, No.3, 30-37.
- Leemis, L. M.**, (1995). *Reliability – Probabilistic Models and Statistical Methods*, New Jersey, USA: Prentice Hall PTR.
- Nelson, W.**, (1990). *Accelerated Testing: Statistical Models Test Plans and Data Analyses*, New York, USA: John Wiley & Sons Inc.
- Nelson, W.**, (1982). *Applied Life Data Analysis*, New York, USA: John Wiley & Sons Inc.
- O’Connor, P. & Kleyner, A.** (2012). *Practical Reliability Engineering (5th edition)*, West Sussex, USA: John Wiley & Sons Inc.
- Papoulis, P. & Unnikrishna, S.**, (2002). *Probability, Random Variables, and Stochastic Processes (4th edition)*, Boston: McGraw-Hill.
- Paschkewitz, J.**, (2009). Calibrated Accelerated Life Test with Time Varying Stress Profiles to Verify Product Reliability Requirements, *International Applied Reliability Symposium*, San Diego, California, USA: June 26-28.
- Sal, B. & Altun, M.**, (2015). Extensive Investigation of Calibrated Accelerated Life Testing (CALT) in Comparison with Classical Accelerated Life Testing (ALT), *European Safety and Reliability Conference*, Zurich, Switzerland: September 7-9.
- Schneider Electric Co.**, (2014). Socket Outlet with earth and shutter, EPH2900221, Product Datasheet.
- Sharif, M. N. & Islam, M. N.**, (1980). The Weibull distribution as a general model for forecasting technological change, *Technological Forecasting and Social Change*. 18 (3), 247-256.
- Silverman, M.**, (2006). Software Design for Reliability, *International Applied Reliability Symposium*, Orlando, Florida, USA: June 14-16.
- Smith, L. E. & McCoskrie, D.**, (1990). What Causes Fires in Residences, *Fire Journal*, 84, 19-24, 69.
- Srivastava, P. W. & Mittal, N.**, (2012). Optimum failure-censored step-stress partially accelerated life test for the truncated logistic life distribution, *International Journal of Reliability and Applications*, 13(1), 19-35.
- Striny, K. M. & Schelling, A. W.**, (1981). Reliability Evaluation of Aluminum-Metalized MOS Dynamic RAMS in Plastic Packages in High

Humidity and Temperature Environments, *31st Electronic Components Conference* (pp. 234-281), IEEE.

**Wu, E. Y., Aitken, J., Nowak, E., Vayshenker, A., Varekamp, P., Hueckel, G., McKenna, J., Harmon, D., Han, L. K., Montrose, C., Dufresne, R.,** (2000). Voltage Dependent Voltage-Acceleration of Oxide Breakdown for Ultra-Thin Oxides, *38th Reliability Physics Symposium*, California, USA, March 23-25.

**Yamamoto, T.,** (1997). A Test on Cables on Fire from Over Electric Current, *Mitsubishi Cable Industries*, No: 92, 41-47.





## ÖZGEÇMİŞ



**Ad-Soyad** : Burak ŞAL  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 09.08.1991 - Bornova/İZMİR  
**E-posta** : sal.burak@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans:** 2015, İstanbul Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği (yandal). 2014, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği.