

# Saha Geri Dönüş Oranını AR-GE Aşamasında İndikatör ile Tahmin Etme Yöntemi

## Field Return Rate Estimation in R&D Phase with an Indicator

Ali Tarkan Tekcan<sup>1</sup>, Gürmen Kahramanoğlu<sup>1</sup>, Mustafa Nevzat Yatır<sup>1</sup>, Barbaros Kirişken<sup>1</sup>,  
Dr. Mustafa Gündüzalp<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Vestel AR-GE Güvenilirlik Bölümü

Vestel Elektronik San ve Tic AŞ

tarkan.tekcan@vestel.com.tr, gurmen.kahramanoglu@vestel.com.tr, mustafa.yatir@vestel.com.tr, barbaros.kirisken@vestel.com.tr

<sup>2</sup>Elektrik – Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi,

Yaşar Üniversitesi

mustafa.gunduzalp@yasar.edu.tr

### Özet

Günümüz tüketici elektroniği şirketleri servis maliyetlerini azaltmak ve iyi bir marka saygınlığı kazanmak için daha güvenilir ürünler üretmeye çalışmaktadırlar. Bununla birlikte, daha güvenilir ürünler üretmek, üretim maliyetlerinde artış anlamına gelmektedir. Güvenilirlik ve servis maliyetleri arasındaki denge ancak AR-GE aşamasında, üretim öncesinde, yapılacak doğru bir saha geri dönüş oranı tahmini ile ayarlanabilir. Saha geri dönüş oranı tahmini için birçok uluslararası standard ve hızlandırılmış ömür testleri kullanılmasına rağmen, çoğu zaman tahmin edilen geri dönüş oranı, gerçekleşen geri dönüş oranından farklı olmaktadır. Bunun sebebi, ürünün, sadece standlarda belirtilen veya hızlandırılmış ömür testlerinde kullanılan stres faktörlerinden arızalanmamasıdır. Bu da, saha geri dönüş oranı hesaplama yönteminde yeni bir parametrenin daha oluşturulması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır.

Bu makalede, saha geri dönüş oranını, AR-GE aşamasında, bir indikatör yardımı ile tahmin etme yöntemi anlatılmıştır. İndikatör fonksiyonu, malzeme seviyesindeki testlerden, ürün seviyesindeki testlerden ve yeni bir parametre olan olgunluk seviyesinden elde edilen 3 hata oranından oluşmaktadır. Bu tahminle birlikte, şirketler ürünlerinin güvenilirliğini iyileştirebilir ve muhtemel servis maliyetlerini azaltabilirler.<sup>1</sup>

Anahtar kelimeler: Saha Geri Dönüş Oranı Tahmini, Parça Sayımı Güvenilirlik Tahmini, Hızlandırılmış Ömür Testi, Exponensiyel Dağılım Hata Oranı, Weibull Dağılım Hata Oranı, Hata Yapma Zamanı, Olgunluk Seviyesi

<sup>1</sup> Bu proje VESTEL Elektronik San. ve Tic. A.Ş. tarafından desteklenmektedir. Bu makalenin bir kısmı RAMS2010'da sunulmuştur.

### Abstract

Today's consumer electronics companies try to produce more reliable products to reduce service costs and obtain a good

brand reputation. However, producing more reliable products means an increase in manufacturing costs. The balance between reliability costs and service costs can only be adjusted with an accurate estimation of field return rate, in R&D phase, before mass production. Although using lots of international standards and accelerated life tests to estimate field return rate, usually, estimated field return rate differs from real field return rate. The reason for this is, the product does not fail only because of the stress factors mentioned in standards and used in accelerated life tests. This means, an additional parameter should be created for field return rate estimation.

In this paper, field return rate estimation in R&D stage with an indicator is introduced. Indicator function consists of three failure rates which are calculated by component level testing, product level testing, and a new parameter called maturity level. With this estimation, companies can improve the reliability of their products to decrease possible service costs.<sup>2</sup>

Keywords: Field Return Rate Estimation, Parts Count Reliability Prediction, Accelerated Life Test, Failure Rate in Exponential Distribution, Failure Rate in Weibull Distribution, Mean Time to Failure, Maturity Level

<sup>2</sup> This project is supported by VESTEL Elektronik San. ve Tic. A.Ş. A Part of this paper is presented in RAMS2010.

### 1. Giriş

Tüketici elektroniği ürünlerinin fiyatlarındaki düşüş, tüketici elektroniği şirketleri için birincil kaygının ürettikleri ürünlerin güvenilirliği olmasına sebep olmuştur. Garanti süresi içerisinde oluşacak bir arızanın şirketlere maliyeti, elde ettikleri karın büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Örneğin; Avrupa'da 1 LCD TV'nin servise dönmesinin şirkete maliyeti, taşıma maliyetleri ile birlikte, yaklaşık 150 dolardır [1].

Bir çok şirket, ürünlerinin güvenilirliğini hesaplamak için uluslararası standartlardan yararlanmaktadır. Fakat, bu standartların çoğu, ürünü oluşturan malzemeler üzerindeki

stres (sıcaklık, gerilim, harcanan güç vb.) tabanlı hesaplama modelleriyle güvenilirlik ve hata oranı tahmini yapmaktadır [2]. Bununla beraber, Loughborough Üniversitesi'nin yaptığı bir araştırmaya göre, stres tabanlı standartlara göre yapılan güvenilirlik tahminlerinin, gerçek saha verilerinden çok farklı olduğu ortaya çıkmıştır [3]. Hatta, stres tabanlı standartların güvenilirlik tahminlerinin kendi içlerinde de farklılık gösterdikleri belirlenmiştir [3]. Standartların, gerçek saha verisiyle uyuşmayan güvenilirlik tahminleri yapması, standartların da sürekli güncellenmesini gerektirmektedir [4]. Ek olarak, hızlandırılmış ömür testleri yaygın bir şekilde kullanılmakta ve elde edilen test verilerinden ürün güvenilirliği ve hata oranı tahmin edilmektedir [5]. Hızlandırılmış ömür testlerinde, ürün, normal kullanım koşulundan daha yüksek stres seviyesinde test edilerek [6], hata yapma davranışı hızlandırılmakta ve normal kullanım koşulu ile test koşulu arasındaki ilişki belirlenerek, ürünün ömür dağılımı hakkında bilgi edinilmektedir [7]. Fakat, bu testlerde de ana stres faktörleri sıcaklık, nem, gerilim, sıcaklık çevrimleri ve titreşimdir [5]. Ayrıca, bu testlerde çoğu zaman yüksek sayıda örnek test edilememekte ve/veya test süresi içerisinde örnekler arıza yapmayarak tam veri elde edilememektedir. Bu da, az sayıda örnekle test planlama ve/veya arıza yapmayan örneklerden de yola çıkarak güvenilirlik tahminleri yapmayı gerektirmektedir [8]. Bununla beraber, yapılan tahminler çoğu zaman gerçeği yansıtmamakta ve şirketleri yanlış tahminlere ve kararlara yönlendirmektedir. Çünkü, sahada ürünlerin arızalanmasına sebep olan faktörler, yalnızca yukarıda bahsedilen stres faktörleri değildir. Bu durumda,

- Elektrostatik Boşalması
- Gerilim Varyasyonları
- Gerilim Kesilmeleri
- Gerilim Çukurları
- Yıldırım Düşmesi
- Gevşek Priz Kaynaklı Arıza
- Ürünün İlk Açılışında Oluşan Yüksek Akım
- Soğuk Ortamda Çalışma
- Sıcak Ortamda Çalışma vb.

değişik arıza sebepleri için yeni bir parametre tasarlanması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu parametre “Olgunluk Seviyesi [9]” olarak adlandırılmıştır. Doğru güvenilirlik analizlerinin yapılması ve saha geri dönüş oranlarının doğru tahmin edilebilmesi ancak bu yeni parametrenin de kullanımıyla mümkündür.

Bu makalede, AR-GE aşamasındaki bir elektronik ürünün, aşağıdaki 3 parametreden oluşan, saha geri dönüş oranı tahmin etme yöntemi anlatılmıştır.

- “Parça Sayımı Güvenilirlik Tahmini” [10] tabanlı, malzeme hata oranı tahminlerinden elde edilen hata oranı
- Hızlandırılmış ömür testlerinden elde edilen verilerin “Weibull Dağılımı [11]” ile analiz edilmesiyle elde edilen hata oranı

- “Olgunluk Seviyesi [9]” çalışmalarından elde edilen hata oranı

## 2. Parça Sayımı Güvenilirlik Tahmini

Parça sayımı güvenilirlik tahmini [10] metoduna göre, elektronik sistemi oluşturan parçaların hata oranları toplamı, elektronik sistemin hata oranına eşittir.

$$\lambda_{sistem} = \sum_{i=1}^n \lambda_{parça_i} \quad (1)$$

$\lambda$  : Birim zamandaki hata oranı,

İlk olarak, üründeki elektronik kart üzerindeki tüm elektronik malzemelerin türü, pin sayısı, sıcaklığı, çalışma gerilimi, harcanan güç değeri, varsa konektör bağlantı tipi, malzemenin çalışma çevre koşulları, kalite sınıfı vb. belirlenir. Belirlenen bu değerler ile MIL-HDBK-217F [10] standardında belirtilen hesaplama yöntemleri kullanılarak her bir malzeme için birim zamandaki hata oranı ( $\lambda_{parça}$ ) hesaplanır. (1) no'lu denklem yardımı ile elektronik kartın birim zamandaki hata oranı hesaplanır.

Eğer, üründe birden fazla elektronik kart varsa, öncelikle yukarıda anlatılan şekilde her bir kartın birim zamandaki hata oranı hesaplanır, sonrasında “Seri Bağlı Sistem Güvenilirliği [11]” yöntemi ile sistemin hata oranı hesaplanır.

Güvenilirlik fonksiyonu;

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2)$$

R : Güvenilirlik,

$\lambda$  : Birim zamandaki hata oranı,

t : Zaman

şeklinde ifade edilir. Seri bağlı sistem güvenilirliği [11] ise;

$$R(t)_{sistem} = \prod_{i=1}^n R(t)_{parça_i} \quad (3)$$

şeklinde belirtilmiştir. Bu durumda;

$$R(t)_{sistem} = e^{-\left(\sum_{i=1}^n \lambda_{parça_i}\right)t} \quad (4)$$

ve sistemin birim zamandaki hata oranı ( $\lambda_{sistem}$ ) yine (1) no'lu denklem yardımıyla, kartların birim zaman hata oranları toplamı olarak elde edilir.

Birim zamandaki hata oranının, istenilen zaman aralığı ile çarpılması durumunda, istenilen zaman aralığı için kümülatif hata oranı (F(t)) elde edilmiş olur.

$$F(t)_{sistem} = 1 - R(t)_{sistem} \quad (5)$$

F (t) : Kümülatif Hata Oranı

$R(t)_{sistem}$  : Sistemin Güvenilirliği,

t : Zaman

(5) no'lu denklem sonucunda elde edilen hata oranı, saha geri dönüş oranı tahmininde kullanılacak olan indikatörün ilk parametresidir.

### 3. Hızlandırılmış Ömür Testleri

İndikatörün 2. parametresi hızlandırılmış ömür testleri sonucunda elde edilen verilerin Weibull Dağılımı [11] ile analiz edilmesiyle hesaplanan hata oranıdır.

#### 3.1. Hızlandırılmış Ömür Testi Planlama

Hızlandırılmış ömür testlerinin amacı, ürünün normal kullanım koşullarında maruz kaldığı stres faktörü seviyesini artırarak hata yapma zamanını hızlandırmaktır. Hızlandırılmış ömür testlerinde kullanılan başlıca stres faktörleri;

- Sıcaklık
- Bağıl Nem
- Gerilim
- Sıcaklık Çevrimi
- Titreşim

dir. Bu stres faktörleri kullanılarak hızlandırılan hata yapma süresi için "Hızlandırma Faktörleri [12]" belirlenmiştir.

##### 3.1.1. Arrhenius Modeli

Sıcaklık stres faktörünün hızlandırma faktörü hesabında Arrhenius Modeli [12] kullanılır.

$$AF = e^{-(Ea/K)(1/T_1 - 1/T_2)} \quad (6)$$

AF : Hızlandırma Faktörü,  
Ea : Aktivasyon Enerjisi,  
K : Boltzman Sabiti =  $8.617 \times 10^{-5}$  eV/K,  
T<sub>1</sub> : Test Sıcaklığı (°K),  
T<sub>2</sub> : Kullanım Sıcaklığı (°K)

##### 3.1.2. Korozyon Modeli

Sıcaklık ile birlikte bağıl nem de stres faktörü olarak kullanılırsa hızlandırma faktörü Korozyon Modeli [12] ile hesaplanır.

$$AF = e^{-(Ea/K)(1/T_1 - 1/T_2)} \cdot (RH_1 / RH_2)^n \quad (7)$$

AF : Hızlandırma Faktörü,  
Ea : Aktivasyon Enerjisi,  
K : Boltzman Sabiti =  $8.617 \times 10^{-5}$  eV/K,  
T<sub>1</sub> : Test Sıcaklığı (°K),  
T<sub>2</sub> : Kullanım Sıcaklığı (°K),  
RH<sub>1</sub> : Test Sırasında Bağıl Nem,  
RH<sub>2</sub> : Kullanım Sırasında Bağıl Nem,  
n : Hata Mekanizmasına Bağlı Katsayı, genellikle 2-4 arası kabul edilir.

##### 3.1.3. Gerilim Uygulamalı Korozyon Modeli

Sıcaklık ve bağıl nem ile birlikte gerilim de stres faktörü olarak kullanılırsa hızlandırma faktörü Gerilim Uygulamalı Korozyon Modeli [12] ile hesaplanır.

$$AF = e^{-(Ea/K)(1/T_1 - 1/T_2)} \cdot (RH_1 / RH_2)^n \cdot (V_1 / V_2)^N \quad (8)$$

AF : Hızlandırma Faktörü,  
Ea : Aktivasyon Enerjisi,  
K : Boltzman Sabiti =  $8.617 \times 10^{-5}$  eV/K,  
T<sub>1</sub> : Test Sıcaklığı (°K),  
T<sub>2</sub> : Kullanım Sıcaklığı (°K),  
RH<sub>1</sub> : Test Sırasında Bağıl Nem,  
RH<sub>2</sub> : Kullanım Sırasında Bağıl Nem,  
n : Hata Mekanizmasına Bağlı Katsayı, genellikle 2-4 arası kabul edilir.  
V<sub>1</sub> : Test Gerilimi,  
V<sub>2</sub> : Kullanım Gerilimi,  
N : Teknolojiye Bağlı Katsayı, genellikle 2-4 arası kabul edilir.

##### 3.1.4. Değiştirilmiş Coffin-Manson Modeli

Sıcaklık çevrimi stres faktörü olarak kullanılırsa, hızlandırma faktörü İyileştirilmiş Coffin-Manson Modeli [12] ile hesaplanır.

$$AF = e^{-(0.123K)(1/T_u - 1/T_s)} \cdot (f_u / f_s)^{0.3} \cdot (DT_s / DT_u)^{1.9} \quad (9)$$

AF : Hızlandırma Faktörü,  
K : Boltzman Sabiti =  $8.617 \times 10^{-5}$  eV/K,  
T<sub>u</sub> : Maksimum Kullanım Lehim Noktası Sıcaklığı (°K),  
T<sub>s</sub> : Maksimum Test Lehim Noktası Sıcaklığı (°K),  
f<sub>u</sub> : Kullanım Sıcaklık Çevrim Frekansı,  
f<sub>s</sub> : Test Sıcaklık Çevrim Frekansı,  
ΔT<sub>u</sub> : Kullanım Anında Sıcaklık Değişimi (°C),  
ΔT<sub>s</sub> : Test Anında Sıcaklık Değişimi (°C),

##### 3.1.5. Basquin's Modeli

Stres faktörü olarak titreşim dayanımı kullanılırsa, hızlandırma faktörü Basquin's Modeli [12] ile hesaplanır.

$$AF = (Grms_1 / Grms_2)^m \quad (10)$$

AF : Hızlandırma Faktörü,  
Grms<sub>1</sub> : Test Titreşim Seviyesi,  
Grms<sub>2</sub> : Kullanım Titreşim Seviyesi,  
m : Materyal Türüne Bağlı Katsayı

### 3.2. Hızlandırılmış Ömür Testi Veri Analizi

Hızlandırılmış ömür testlerine tabi tutulan örneklerin hata yapma süreleri ve test sonunda hata yapmadıkları test süreleri kayıt edilir. Hızlandırılmış ömür testleri sonunda iki tip veri elde edilir:

- Tam Veri
- Sansürlü Veri

Tam veri : Test örneğinin arıza yaptığı süre  
Sansürlü veri : Arızalanmayan örnekler için test süresi  
Bu süreler, test sırasında kullanılan stres faktörlerine bağlı olarak hesaplanmış hızlandırma faktörleri ile çarpılarak normal kullanım koşullarında simüle edilen sürelere

dönüştürülür. Elde edilen veri seti Weibull Dağılımı [11] kullanılarak analiz edilir ve belirlenen süre için hata oranı hesaplanır.

Weibull Dağılımı [11] olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(T) = \left(\frac{b}{h}\right) \left(\frac{T-g}{h}\right)^{b-1} e^{-\left(\frac{T-g}{h}\right)^b} \quad (11)$$

$\beta$  : Şekil Parametresi

$\eta$  : Skala Parametresi

$\gamma$  : Lokasyon Parametresi

şeklinde ifade edilir. Dağılım parametrelerinin belirlenmesi için "Maximum Likelihood" yönteminden yararlanılır. Hata yapan örnek sayısının az olduğu durumlarda parametre tahmin metodları da buna uygun olarak seçilmelidir [13]. Güvenilirlik fonksiyonu ise;

$$R(T) = e^{-\left(\frac{T-g}{h}\right)^b} \quad (12)$$

şeklinde, zamana bağlı hata yapma fonksiyonu ise;

$$I(T) = \left(\frac{b}{h}\right) \left(\frac{T-g}{h}\right)^{b-1} \quad (13)$$

biçiminde tanımlanmıştır. Kümülatif hata oranı;

$$F(T) = 1 - R(T) \quad (14)$$

yardımıyla hesaplanır.

Hesaplanan parametreler ile elde edilen fonksiyonlar sonunda, istenilen zaman aralığı için kümülatif hata oranı (14) no'lu denklem yardımıyla hesaplanır. Hesaplanan kümülatif hata oranı, saha geri dönüş oranı tahmininde kullanılacak indikatörün ikinci parametresidir.

#### 4. Olgunluk Seviyesi

Uluslararası stres tabanlı standartlarda ve hızlandırılmış ömür testlerinde kullanılan ana stres faktörleri sıcaklık, nem, gerilim, harcanan güç, titreşimdir. Bununla beraber, daha öncede belirtildiği gibi, ürün, sahada birçok farklı sebepten arızalanabilir. Bu arıza sebepleri de sayısal ifadelerle dönüştürülmeli ve ürünün sahada arızalanma riski sayısal olarak belirlenmelidir. Bu da, olgunluk seviyesi [9] testleriyle mümkündür. Olgunluk seviyesi [9] testleri 3 ana grup altında toplanabilir. Bunlar, güvenilirlik onay testleri, erken ömür testleri ve tasarım doğrulama testleridir.

Olgunluk seviyesinin [9] hesaplanabilmesi için her bir test için test puanı belirlenir ve toplam test puanı ortaya çıkartılır. Bu puanlamalar, şirket tecrübesine ve testlerde elde edilen verilere dayanılarak yapılır. Ek olarak, testlerde tespit edilen hata durumları sınıflandırılır ve her hata sınıfı için kayıp puan katsayısı belirlenir. Olgunluk seviyesini [9] daha doğru hesaplayabilmek için, zaman içinde gerek test listesinde gerekse puanlama sisteminde değişiklikler yapılabilir. Nitekim, tablo 1,2, 3 ve 4'te verilen test listesi ve test puanları [9] no'lu referans çalışmasından sonra, tahminlerin daha

doğru sonuç vermesi için, yapılan değişiklikler sonrası oluşturulmuştur.

#### 4.1. Güvenilirlik Onay Testleri

Güvenilirlik onay testleri, AR-GE aşamasındaki bir ürünün önemli tasarım problemlerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen, elektriksel, çevresel ve mekaniksel testlerin bütünüdür. Bu testlerin 5 adet örnekle gerçekleştirilmesi yeterlidir. Güvenilirlik onay testlerinden geçmeyen bir ürün/proje üretime aktarılamaz.

Örnek olarak, bir LCD TV güvenilirlik onay testleri ve test puanları listesi tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Güvenilirlik Onay Testleri (LCD TV)

Test Türü	Test Adı	Test Puanı
Elektriksel	Akım Gerilim Stres Test	100
	Sıcaklık Stres Test	100
	Açık/Kısa Devre Testi	100
	Elektrostatik Boşalım Test	100
	Ani Yükselmelere Karşı Bağışıklık Testi	25
	Yıldırım Testi	50
	Gerilim Çukurları, Kısa Kesintiler ve Gerilim Değişmeleri Testi	50
	Açma/Kapama Testi	50
	Anma Akımı Testi	75
Çevresel	Sıcakta Çalışma Testi	100
	Yüksek Sıcaklık Testi	50
	Düşük Sıcaklık Testi	50
	Yüksek Nem Ömür Testi	50
Mekaniksel	Titreşim Dayanım Testi	25
	Duvara Asma Dayanım Testi	25
	Düşme Testi	50
	Toplam	1000

#### 4.2. Erken Ömür Testleri

Erken ömür testleri, kart bazında yapılan, malzeme ve lehimleme/üretim süreci kaynaklı problemleri tespit etmeye yarayan testlerdir. Bu testlerin, en az 20 adet kartla gerçekleştirilmesi gereklidir. Testler sonunda, ürün ömrünün ilk safhalarında ortaya çıkacak problemlerin tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Örnek olarak, bir LCD TV erken ömür testleri ve test puanları listesi tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Erken Ömür Testleri (LCD TV)

Test Türü	Test Adı	Test Puanı
Çevresel	Sıcaklık Çevrim Testi	75
	Yüksek Sıcaklık Yüksek Nem Testi	50
	Sıcaklık Şok Testi	50
Mekaniksel	Rastgele Titreşim Dayanım Testi	50
Toplam		225

#### 4.3. Tasarım Doğrulama Testleri

Tasarım doğrulama testleri, yakalanması zor, tasarım problemlerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen daha uzun süreli testlerdir. Birleştirilmiş stres testleri, tasarım doğrulama testleri kapsamında gerçekleştirilir. Testlerin mümkün olan en fazla örnekle yapılması hata yakalama olasılığını arttıracaktır. Örnek olarak, bir LCD TV tasarım doğrulama testleri ve test puanları listesi tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3: Tasarım Doğrulama Testleri (LCD TV)

Test Türü	Test Adı	Test Puanı
Elektriksel	Enerjili/Enerjisiz Sıcaklık Çevrim Testi	100
	Kademeli Elektrostatik Boşalım Testi	50
Çevresel	Birleştirilmiş Yüksek Sıcaklık ve Yüksek Nem Testi	50
	Sıcaklık Şok Testi	75
	Kademeli Sıcaklık Testi	50
	Enerjili/Enerjisiz Yüksek/Düşük Sıcaklık ve Nem Testi	50
	Yük Nem Depo Testi	25
	Sıcaklık Devrim Testi	50
Mekaniksel	Yapısal İnceleme Testi	50
	Paketsiz Şok Test	50
	Kademeli Rastgele Titreşim Dayanım Testi	25
Toplam		575

#### 4.4. Olgunluk Seviyesi Hesaplama Yöntemi

Testlere verilen test puanları toplamı, "toplam test puanı (TTP)" olarak adlandırılır. Testlerde tespit edilen hatalar ise hatanın önem derecesine göre sınıflandırılır. Önem derecesine göre sınıflandırılmış hatalara "hata sınıflandırma katsayısı (HSK)" verilir. Bu katsayı tecrübelerle dayanılarak tasarlanır. Testlerde tespit edilmiş hataların tasarım gruplarına çözülüp çözülmemesine dayanılarak "durum katsayısı (DK)" belirlenir. Bu katsayı, yine şirket tecrübesine dayanılarak oluşturulur. Hata sınıflandırma katsayısı, sınıflandırılmış hata sayısı ve durum katsayısıyla çarpılarak "sınıflandırılmış kayıp puan

(SKP)" elde edilir. Sınıflandırılmış kayıp puanların toplanmasıyla "toplam kayıp puan (TKP)" hesaplanır. Olgunluk seviyesi ise toplam test puanından toplam kayıp puanın çıkarılmasıyla elde edilen puanın, toplam test puanına oranlanmasıyla hesaplanır. Örnek olarak, bir LCD TV toplam test puanı, hata sınıflandırma ve sınıflandırma katsayısı ve durum katsayısı aşağıdaki tablo 4, tablo 5 ve tablo 6'da verilmiştir. Hata sınıflandırma ve önemi belirlenirken saha verileri iyi analiz edilmelidir [14].

Tablo 4: Toplam Test Puanı (LCD TV)

Test Grubu	Test Puanı
Güvenilirlik Onay Testleri	1000
Erken Ömür Testleri	225
Tasarım Doğrulama Testleri	575
Toplam Test Puanı (TTP)	1800

Tablo 5: Hata Sınıflandırma ve Hata Sınıflandırma Katsayısı (LCD TV)

Hata Sınıfı	Hata Sınıflandırma Katsayısı (HSK)
Üretim Durduran Hata	40
Yüksek Önemli Hata	8
Orta Önemli Hata	5
Düşük Önemli Hata	3

Tablo 6: Durum Katsayısı (LCD TV)

Hata Durumu	Durum Katsayısı (DK)
Açık/Çözümlememiş Hata	3
Kapalı/Çözümlemiş Hata	0
Tekrar Eden Hata	0

Hesaplama yöntemi aşağıdaki formüllerle modellenmiştir.

$$SKP = HS \cdot HSK \cdot DK \quad (15)$$

SKP : Sınıflandırılmış Kayıp Puan,

HS : Hata Sayısı,

HSK : Hata Sınıflandırma Katsayısı,

DK: Durum Katsayısı

$$TKP = \sum SKP \quad (16)$$

TKP : Toplam Kayıp Puan,

SKP : Sınıflandırılmış Kayıp Puan

$$OS = (TTP - TKP) / TTP \quad (17)$$

OS : Olgunluk Seviyesi,

TTP : Toplam Test Puan,

TKP : Toplam Kayıp Puan



Olgunluk seviyesi 0-1 arası bir değerdir. Bu değerın 1'den çıkartılmasıyla elde edilen değer, saha geri dönüş oranı tahmin metodunda kullanılan indikatörün 3. parametresidir. Bu değer, ürünün, yapılan testlerde karşılaşılan hatalarına ait, sabit kümülatif hata oranı (F) olarak değerlendirilmektedir.

$$F = 1 - OS \quad (18)$$

F : Sabit Kümülatif Hata Oranı  
OS : Olgunluk Seviyesi

## 5. Saha Geri Dönüş Oranı Hesaplama Yöntemi

Saha geri dönüş oranı tahmininde kullanılacak olan "saha geri dönüş oranı indikatörü (SGDOI) [15]", yukarıda bahsedilen 3 hata oranının çarpılmasıyla elde edilir.

$$SGDOI(T) = F(T)_1 \cdot F(T)_2 \cdot F_3 \quad (19)$$

SGDOI : Saha Geri Dönüş Oranı İndikatörü  
F(T)<sub>1</sub> : Parça Sayımı Güvenilirlik Tahmini [10] metoduyla elde edilen kümülatif hata oranı  
F(T)<sub>2</sub> : Hızlandırılmış ömür testi verilerinin Weibull Dağılımı [11] ile analiz edilmesiyle elde edilen kümülatif hata oranı  
F<sub>3</sub> : Olgunluk Seviyesi'den [9] elde edilen sabit kümülatif hata oranı  
T : Belirlenen Zaman Aralığı

Analiz ve testler sonrasında hesaplanan her bir teorik kümülatif hata oranı, gerçek saha geri dönüş oranıyla 1. dereceden bir ilişki içindedir. Bu sebeple, SDGOI gerçek saha geri dönüş oranıyla 3. dereceden ilişki içerisindedir [15].

$$SGDOI(T) \gg A_1 \cdot RR(T)^3 \quad (20)$$

SGDOI(T) : Saha Geri Dönüş Oranı İndikatörü,  
RR(T) : Gerçek Saha Geri Dönüş Oranı,  
T : Belirlenen Zaman Aralığı  
A<sub>1</sub>: İlişki Katsayısı

Bu durumda, benzer ürünlerin/projelerin saha geri dönüş oranı indikatörlerinin birbirine oranı ile gerçek saha geri dönüş oranlarının birbirine oranının kübü arasında 1. dereceden ilişki mevcuttur [15].

$$\frac{SGDOI(T)_1}{SGDOI(T)_2} \gg A_2 \cdot \left( \frac{RR(T)_1}{RR(T)_2} \right)^3 \quad (21)$$

SGDOI (T)<sub>1</sub>: 1. Projenin Saha Geri Dönüş Oranı İndikatörü,  
SGDOI (T)<sub>2</sub>: 2. Projenin Saha Geri Dönüş Oranı İndikatörü,  
RR (T)<sub>1</sub>: 1. Projenin Gerçek Saha Geri Dönüş Oranı,  
RR (T)<sub>2</sub>: 2. Projenin Gerçek Saha Geri Dönüş Oranı,  
T : Belirlenen Zaman Aralığı  
A<sub>2</sub>: İlişki Katsayısı

Yeni bir projenin, AR-GE aşamasında, belli bir zaman aralığı kapsamında, gerçek saha geri dönüş oranını tahmin edebilmek için, en az 3 eski projenin, saha geri dönüş oranı indikatörleri

hesaplanmalı ve belirlenen zaman aralığındaki gerçek saha geri dönüş oranı bilinmelidir. Şekil 1'de verilen doğrunun çizilebilmesi ve doğru denkleminin belirlenebilmesi için en az 2 noktaya ihtiyaç vardır. En az 2 nokta bir doğru belirler. Nokta sayısı ise, eski projelerin ikili kombinasyonlarının sayısı kadardır. Çünkü, X ve Y noktaları eski projelerin indikatör ve geri dönüş oranlarının ikili kombinasyonlarının oranları şeklinde hesaplanmaktadır. İkili kombinasyon sayısı, doğru oluşturmak için gerekli asgari nokta sayısı olan, 2'ye eşit veya büyük olan en küçük sayı 3'tür. Dolayısıyla, en az 3 eski projeye ihtiyaç vardır.

A<sub>2</sub> ilişki katsayısı bir projenin hesaplanan tüm saha geri dönüş oranı tahminleri için farklı değerler alabilir. Bu durumun oluşmaması için, daha sonra verilecek olan, şekil 1'deki doğru ve doğru denklemi oluşturulur. Bu doğru üzerindeki noktalardan yola çıkılarak kurulan ilişkilerdeki A<sub>2</sub> ilişki katsayıları aynı değerleri alırlar. Bu değer, oluşturulan doğrunun eğimidir.

İndikatörler ve gerçek geri dönüş oranlarının belirlenmesinden sonra, (21) no'lu ilişki yardımıyla X-Y koordinat sistemi üzerinde örnek uzay oluşturulur. Örnek uzayın X ekseninde geri dönüş oranı indikatörünün ikili kombinasyonlarının birbirine oranı, Y ekseninde ise gerçek saha geri dönüş oranlarının ikili kombinasyonlarının birbirine oranının kübü yer almaktadır. (X,Y) noktalarının en yakınından geçen doğru denklemi ise; yeni projenin indikatörünün eski projelerin indikatörlerine oranından elde edilen X noktalarına karşı, yeni projenin tahmini saha geri dönüş oranı ile eski projelerin gerçek saha geri dönüş oranı arasındaki oranın kübünü (Y noktalarını) vermektedir. Elde edilen bu Y noktalarının küp kökü alındığında ise yeni projenin tahmini saha geri dönüş oranının eski projelerin gerçek saha geri dönüş oranına oranı bulunmuş olunur. Eski projelerin gerçek saha geri dönüş oranı bilindiği için, yeni projenin tahmini saha geri dönüş oranı kolayca hesaplanabilir.

Örnek olarak, 3 adet eski proje verileri kullanılarak 1 adet yeni projenin, belirlenen zaman aralığı için, saha geri dönüş oranı tahmin yöntemi tablo 7 ve tablo 8'de verilmiştir.

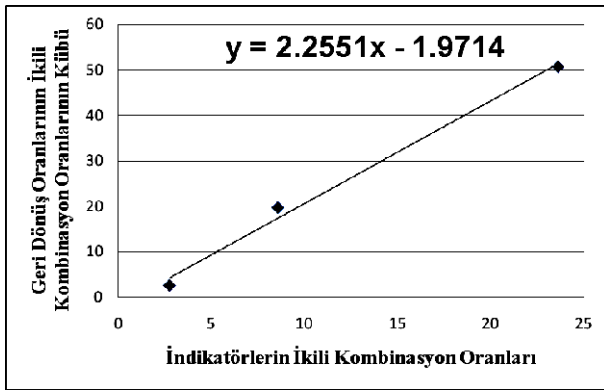
Tablo 7: Proje İndikatörleri ve Geri Dönüş Oranları

Proje	F(T) <sub>1</sub> (%)	F(T) <sub>2</sub> (%)	Olgunluk Seviyesi (1 - F <sub>3</sub> ) (%)	SGDOI	Geri Dönüş Oranı (%)
1	9.78	3.10	72.84	823.44	3.70
2	7.56	2.12	81.34	299.03	2.70
3	4.15	1.12	92.50	34.86	1.00
4	5.20	2.83	88.51	169.09	RR <sub>4</sub>

**Tablo 8:** Eski Proje İndikatörlerin İkili Kombinasyonlarının Oranları ve Eski Proje Geri Dönüş Oranlarının İkili Kombinasyonlarının Oranlarının Kübü

Eski Proje İndikatörlerin İkili Kombinasyonlarının Oranları		Eski Proje Geri Dönüş Oranlarının İkili Kombinasyonlarının Oranlarının Kübü	
$X_1$ : SGDOI <sub>1</sub> / SGDOI <sub>2</sub>	2.75	$Y_1$ : (RR <sub>1</sub> / RR <sub>2</sub> ) <sup>3</sup>	2.57
$X_2$ : SGDOI <sub>1</sub> / SGDOI <sub>3</sub>	23.62	$Y_2$ : (RR <sub>1</sub> / RR <sub>3</sub> ) <sup>3</sup>	50.65
$X_3$ : SGDOI <sub>2</sub> / SGDOI <sub>3</sub>	8.58	$Y_3$ : (RR <sub>2</sub> / RR <sub>3</sub> ) <sup>3</sup>	19.68

Eski projelerin indikatör ve gerçek saha geri dönüş oranlarından elde edilen ( $X_1, Y_1$ ), ( $X_2, Y_2$ ) ve ( $X_3, Y_3$ ) noktaları X-Y koordinat sisteminde işaretlenerek, bu noktalara en yakın olan doğru denklemi belirlenir (Bkz. Şekil 1).



**Şekil 1:** ( $X_1, Y_1$ ), ( $X_2, Y_2$ ) ve ( $X_3, Y_3$ )

Oluşturulan bu doğru sayesinde, denklem (20) ve (21)'de verilen  $A_1$  ve  $A_2$  ilişki katsayılarının, bir projenin her saha geri dönüş oranı tahmini için farklı değer almasının önüne geçilir. Aşağıdaki tabloda verilen X değerleri, şekil 1'de verilen doğru denklemine yerine konularak, tablo 9'da belirtilen Y değerlerine ulaşılır.

**Tablo 9:** Yeni Proje İndikatörünün Eski Proje İndikatörlerine Oranları ve Yeni Proje Tahmini Geri Dönüş Oranlarının Eski Proje Gerçek Geri Dönüş Oranlarına Oranının Kübü

İndikatör Oranları		Geri Dönüş Oranları Kübü	
$X_{41}$ : SGDOI <sub>1</sub> / SGDOI <sub>4</sub>	4.87	$Y_{41}$ : (RR <sub>1</sub> / RR <sub>4</sub> ) <sup>3</sup>	9.01
$X_{42}$ : SGDOI <sub>2</sub> / SGDOI <sub>4</sub>	1.77	$Y_{42}$ : (RR <sub>2</sub> / RR <sub>4</sub> ) <sup>3</sup>	2.02
$X_{34}$ : SGDOI <sub>4</sub> / SGDOI <sub>3</sub>	4.85	$Y_{34}$ : (RR <sub>4</sub> / RR <sub>3</sub> ) <sup>3</sup>	8.97

Y değerlerinin elde edilmesinden sonra, eski projelerin bilinen gerçek saha geri dönüş oranı yardımı ile yeni projenin saha geri dönüş oranı tahminleri elde edilir (Bkz. Tablo 10).

**Tablo 10:** Yeni Proje Tahmini Geri Dönüş Oranlarının Eski Proje Gerçek Geri Dönüş Oranlarına Oranı ve Yeni Proje Tahmini Geri Dönüş Oranı

İndikatör Oranları		Geri Dönüş Oranı Tahminleri	
RR <sub>1</sub> / RR <sub>4</sub>	2.08	RR <sub>4</sub>	1.78
RR <sub>2</sub> / RR <sub>4</sub>	1.26	RR <sub>4</sub>	2.14
RR <sub>4</sub> / RR <sub>3</sub>	2.08	RR <sub>4</sub>	2.08

Sonuç olarak, yeni proje için eski proje sayısı kadar saha geri dönüş oranı tahmini elde edilir. Elde edilen 3 geri dönüş oranı tahmini şu şekilde yorumlanabilir:

- Yeni projenin saha geri dönüş oranı %1.78'den büyük ve %2.08'den küçük gerçekleşecektir.
- Yeni projenin saha geri dönüş oranı 3 tahmin değerinin ortalaması olan %2.00'a yakınsayacaktır.

## 6. Gerçek Çalışma Verileri

Önerilen yöntem ile hesaplanmış gerçek proje  $F(T)_1$ ,  $F(T)_2$ , OS, SGDOI ve gerçek geri dönüş oranları tablo 11'de verilmiştir.

**Tablo 11:** Proje İndikatörleri ve Geri Dönüş Oranları

Proje	$F(T)_1$ (%)	$F(T)_2$ (%)	Olgunluk Seviyesi (1- $F_3$ ) (%)	SGDOI	Gerçek Geri Dönüş Oranı (%)
1	10.7	4.00	64.94	1499.2	4.19
2	7.56	1.82	82.75	237.31	2.60
3	4.85	0.26	93.60	8.07	0.87
4	5.02	2.83	89.50	149.09	RR <sub>4</sub>
5	5.00	0.48	91.00	21.60	RR <sub>5</sub>
6	3.61	0.46	88.56	18.99	RR <sub>6</sub>

Tablo 11'de belirtilen veriler kullanılarak ve 5. bölümde anlatılmış olan methodlar uygulanarak hesaplanmış geri dönüş oranı tahminleri ve bu projelerin gerçek saha geri dönüş oranları tablo 12'de verilmiştir.

**Tablo 12:** Yeni Proje Geri Dönüş Oranı Tahminleri ve Gerçek Saha Geri Dönüş Oranları

Geri Dönüş Oranı Tahminleri (%)		Gerçek Saha Geri Dönüş Oranları (%)	
RR <sub>4</sub>	1.90	Ort. 1.84	RR <sub>4</sub>
RR <sub>4</sub>	1.45		
RR <sub>4</sub>	2.16		
RR <sub>5</sub>	1.18	Ort. 1.32	RR <sub>5</sub>
RR <sub>5</sub>	1.16		
RR <sub>5</sub>	1.61		
RR <sub>6</sub>	1.13	Ort. 1.29	RR <sub>6</sub>
RR <sub>6</sub>	1.13		
RR <sub>6</sub>	1.59		

Tablo 12’den görülebileceği üzere, projelerin gerçek saha geri dönüş oranı, önerilen yöntemin verdiği geri dönüş oranı değerlerinin alt ve üst limitleri içerisinde. Ek olarak, gerçek saha geri dönüş oranı, önerilen yöntemin verdiği geri dönüş oranlarının ortalama değerine çok yakın gerçekleşmiştir.

Olgunluk seviyesi katsayısı eklenerek oluşturulan yöntemin getirdiği avantajlar tablo 13’te verilmiştir.

Tablo 13: Önerilen Metod Sonuçları ve Diğer Metod Sonuçlarının Gerçek Saha Verisi ile Karşılaştırılması

Proje	F(T) <sub>1</sub> (%)	F(T) <sub>2</sub> (%)	Önerilen Metod Sonuçları – Ort. (%)	Gerçek Geri Dönüş Oranı (%)
4	5.02	2.83	1.84	1.57
5	5.00	0.48	1.32	1.19
6	3.61	0.46	1.29	1.14

F(T)<sub>1</sub>: Parça sayımı güvenilirlik tahmini metodu ile hesaplanmış 1 yıllık geri dönüş oranı

F(T)<sub>2</sub>: Hızlandırılmış ömür testleri metodu ile hesaplanmış 1 yıllık geri dönüş oranı

Tablo 13’ten de anlaşılacağı üzere, geleneksel 2 metod sonuçları (F(T)<sub>1</sub> ve F(T)<sub>2</sub>) ile gerçek saha oranı arasında fark oldukça fazla olmakla beraber, önerilen metodun sonuçlarının gerçek saha dönüş oranına oldukça yakındır.

## 7. Sonuçlar

Bilinen standartlar ve hızlandırılmış ömür testleri teknikleri belli stres faktörleri kullanarak hata oranı ve güvenilirlik tahminleri yaparken, ürün, sahada, daha farklı bir çok sebepten dolayı arızalanmaktadır. Bu da yapılan tahminlerin gerçek saha verisinden farklı olmasına yol açmaktadır [3]. Saha geri dönüş oranını doğru tahmin edebilmek ancak ve ancak bu farklı sebeplerden oluşan arızaları da “hata oranı” olarak ifade edebilecek yeni bir parametre ile mümkündür. Bu makalede, bu yeni parametre “olgunluk seviyesi” olarak verilmiş [9] ve bu yeni parametre kullanılarak saha geri dönüş oranı matematiksel olarak modellenmiştir.

Saha geri dönüş oranını AR-GE aşamasında bir indikatör ile tahmin etme yöntemi sayesinde, şirketler, ürünlerinin güvenilirliklerini, üretim öncesinde, kontrol edebilir ve saha geri dönüş oranlarını çok daha yüksek güvenilirlikle tahmin edebilirler. Bu da, olası yüksek servis maliyetlerinin önüne geçilmesini sağlar. Tahmin sonuçları, proje üretime girmeden elde edildiği için, üründe yapılacak değişiklik ve iyileştirmelerin maliyeti de asgari olacaktır.

Bu yöntem sonunda, AR-GE aşamasındaki yeni bir proje için, eski proje sayısı kadar tahmin elde edilir. Bu veriler 2 şekilde değerlendirilebilir.

- Yeni projenin geri dönüş oranı, en küçük tahmin değerinden büyük ve en büyük tahmin değerinden küçüktür.
- Yeni projenin geri dönüş oranı, hesaplanan tüm tahminlerin aritmetik ortalamasına yakınsar.

## 8. Teşekkür

Bu makale Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü doktora tezinden üretilmiştir.

## 9. Kaynaklar

- [1] Shaw, M., “LCD TV Reliability Testing: An Effective Approach”, *ARS, Europe: Berlin, Germany*, 2010, Sayfa 4.
- [2] Goel, A. ve Graves, R. J., “Electronic System Reliability: Collating Prediction Models”, *IEEE Transactions on Device and Materials Reliability*, Vol. 6, No. 2, Sayfa 1-5, 2006.
- [3] Jones, J. ve Hayes, J., “A Comparison of Electronic-Reliability Prediction Models”, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol 48, No 2, Sayfa 1-8, 1999.
- [4] Harms, J.W., “Revision of MIL-HDBK-217, Reliability Prediction of Electronic Equipment”, *Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)*, 2010, Sayfa 1-2.
- [5] Chan, H.A., “Accelerated Stress Testing for Both Hardware and Software”, *Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)*, 2004, Sayfa 1-3.
- [6] Yang, G., “Accelerated Life Tests at Higher Usage Rates”, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 54, No. 1, Sayfa 1-2, 2005.
- [7] Mettas, A., “Reliability Predictions based on Customer Usage Stress Profiles”, *Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)*, 2005, Sayfa 1-4.
- [8] Ma, H. ve Meeker, W.Q., “Strategy for Planning Accelerated Life Tests With Small Sample Sizes”, *IEEE Transactions on Reliability*, Vol. 59, No.4, Sayfa 1, 2010.
- [9] Tekcan, T. ve Kiriskan, B., “Reliability test procedures for achieving highly robust electronic products,” *Reliability and Maintainability Symposium (RAMS)*, 2010 Proceedings - Annual , vol., no., pp.1-6, 25-28 Jan., 2010, Sayfa 1-6.
- [10] Defense, U.D.o.: ‘MIL-HDBK-217F Reliability Prediction of Electronic Equipment’, (Defense, US Department of, 28 Feb 1995).
- [11] Keçecioglu, D., *Reliability Engineering Handbook*, Destech Publications, Pensilvanya, ABD, 2002.
- [12] Bayle, F. ve Mettas, A., “Acceleration Models in Reliability Prediction Standards: Justification and Improvements”, *ARS, Europe: Berlin, Germany*, 2010, Sayfa 7-13.
- [13] Enkhmunkh, N., Kim, G.W., Hwang, K. ve Hyun, S., “A Parameter Estimation of Weibull Distribution for Reliability Assessment with Limited Failure Data”, *Strategic Technology, IFOST*, 2007, Sayfa 1-3.
- [14] De Visser, I.M., Yuan, L. ve Nagappan, G., “Understanding Failure Severity in New Product Development Processes of Consumer Electronics Products”, *IEEE International Conference on Management of Innovation and Technology*, 2006, Sayfa 1-5.
- [15] Kahramanoğlu, G., “Field Return Rate Estimation in R&D Stage with an Indicator”, *Accelerated Stres Testing Reliability Symposium, Denver, Colorado, ABD*, 2010, Sayfa 1-40.