



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Çelik sektöründe güvenilirlikli üretim ve örnek bir uygulama: S355JR (EN 10025-2) çeliği akma ve kopma dayanımı güvenilirlik analizi

Reliable production in steel industry and a case study: reliability analysis of yield and tensile strength of S355JR (EN 10025-2) steel

Yazar(lar) (Author(s)): Can ÇİVİ¹, Hakan ERÇAY²

*ORCID¹:*0000-0002-5302-9072

ORCID²: 0000-0002-3858-4246

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article): Çivi C., ve Erçay H., “Çelik sektöründe güvenilirlikli üretim ve örnek bir uygulama: S355JR (EN 10025-2) çeliği akma ve kopma dayanımı güvenilirlik analizi”, *Politeknik Dergisi*, 23(4): 1177-1182, (2020).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.579488

Çelik Sektöründe Güvenirlikli Üretim ve Örnek Bir Uygulama: S355JR (EN 10025-2) Çeliği Akma ve Kopma Dayanımı Güvenirlik Analizi

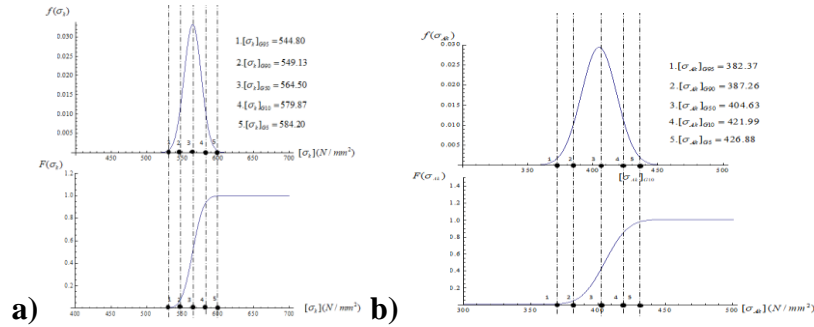
Reliable Production in Steel Industry and a Case Study: Reliability Analysis of Yield and Tensile Strength of S355JR (EN 10025-2) Steel

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Çelik üretiminde güvenilirlik analizleri güvenli tasarımlar için önem arz etmektedir. / Reliability analysis in steel production is important for safe designs.
- ❖ Mekanik özellik kataloglarında verilen aralık değerleri kritik tasarımlarda risk oluşturmaktadır. / The range values given in the mechanical property catalogs pose a risk in critical designs.

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Çalışmada çelik üretiminde güvenilirlik analizlerinin önemi tartışılmış ve örnek bir uygulama gerçekleştirilmiştir. / In this study, the importance of reliability analysis in steel production was discussed and an example application was performed.



Şekil. S355 JR Çeliği a) Akma b) Kopma Dayanımı Dağılım Eğrileri / Figure. S355 JR Steel Distribution Curves of a) Yield b) Tensile Strength

Amaç (Aim)

Bu çalışmada çelik üretiminde ülkemizde ihmal edilen güvenilirlik kavramı ele alınmıştır. / In this study, reliability, which is a neglected concept in steel production in Turkey, is discussed

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Güvenirlik analizlerinde Shapiro-Wilk Normallik testi yapılmış, verilerin analizleri Gauss-Laplace fonksiyonuna göre yapılmıştır. / In reliability analysis, Shapiro-Wilk Normality test was performed, and the data was analyzed according Gauss-Laplace function.

Özgünlük (Originality)

Mukavemet ve ömür analizlerinde güvenilirlikli değerlerin kullanılması gerekliliğinin vurgulanması çalışmanın özgün yanıdır. / The emphasis on the need to use reliable values in strength and life analysis is the original aspect of the study.

Bulgular (Findings)

Güvenirlik değerlerinin artışıyla tasarım emniyetli olmakla birlikte boyutlar artar. / With the increase in reliability values, the design is become safe, but the dimensions increase.

Sonuç (Conclusion)

Tasarımın kritiklik durumuna göre hesaplarda yüksek güvenilirlikteki değerler kullanılmalıdır. / High reliability values should be used according to the critical condition of the design.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Çelik Sektöründe Güvenirlikli Üretim ve Örnek Bir Uygulama: S355JR (EN 10025-2) Çeliği Akma ve Kopma Dayanımı Güvenirlik Analizi

Araştırma Makalesi / Research Article

Can ÇİVİ^{1*}, Hakan ERÇAY²

¹Mühendislik Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Türkiye

²Özkan Demir Çelik Sanayi A.Ş., İzmir, Türkiye

(Geliş/Received : 18.06.2019 ; Kabul/Accepted : 03.11.2019)

ÖZ

Makine ve imalat sektöründe çelik, dayanım ve maliyet faktörleri göz önüne alındığında vazgeçilmez bir malzemedir. Günümüz koşullarında teknolojinin ve buna bağlı olarak tasarımların geldiği noktada, özellikle vasıflı çelikler büyük önem kazanmış, üstün mekanik dayanım ve yorulma özellikleri makine ve imalat endüstrisinin tamamına yakınında bu çeliklerin kullanımını zorunlu hale getirmiştir. Bu çalışmada çelik üretiminde ülkemizde ihmal edilen bir kavram olan güvenirlik ele alınmış, üretimde ve tasarımlarda yapılacak güvenirlik analizlerinin getireceği katkı tartışılmıştır. Çalışma kapsamında örnek bir uygulama olarak S355JR (EN 10025-2) Çeliğinin çekme testinin güvenirlik analizi gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güvenirlik, çelik üretimi, çekme dayanımı.

Reliable Production in Steel Industry and a Case Study: Reliability Analysis of Yield and Tensile Strength of S355JR (EN 10025-2) Steel

ABSTRACT

Considering the strength and cost factors, steel is the essential material in the machinery and manufacturing sector. In today's condition of technology and accordingly today's designs, especially qualified steels have gained great importance, and their superior mechanical strength and fatigue properties make it necessary to use these steels in close proximity to the entire machinery and manufacturing industry. In this study, reliability, which is a neglected concept in steel production in our country, has been discussed, and the contribution of reliability analyzes in production and design was discussed. As a case study, the reliability of the tensile test of S355JR (EN 10025-2) steel was performed.

Keywords: Reliability, steel production, tensile strength.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Makine ve imalat sektöründe elemanlarının tasarım hesaplarında güvenirlik ve emniyet kavramları önem taşımaktadır. Konstrüksiyon elemanlarında, zorlayıcı yüklerin maksimum mukavemet değerlerinin altında kaldığını gösteren parametre emniyet katsayısı olarak tanımlanır ve bu katsayı "1" rakamına eşit veya daha büyük olarak hesaplarda kullanılır. Emniyet katsayısı "1" den büyük olsa dahi bir tasarım elemanında öngörülen kullanım süresini gerçekleştirme garantisini gösteren parametre güvenirliliktir. Bunun değeri %100 den yani "1" rakamından küçüktür. Hasar ise güvenirliliğin olmadığı durumda meydana gelir. Hasar ve güvenirliliğin toplamı "1" rakamını verir.

Klasik konstrüksiyon (tasarım) metodu emniyet fikri üzerine kurulmuştur. Bu konstrüksiyon metodunda belirli bir yükün altında etki eden gerilmeler karşısında

herhangi bir teknik sistemin elemanlarının, teorik olarak sonsuz ömrü gerçekleştirdiği varsayılır. Diğer bir metot olan istatistik konstrüksiyon metodunun temel fikri ise, elemanların sonsuz ömre sahip olmasından ziyade belirli bir ömür değerlerine sahip olduğudur. Bu yöntemde tasarımdaki her bir parçanın işletme şartlarında hasar görmeksizin belirli sürelerde çalışmasını esas olarak güvenirlik yüzdeleri hesaplanır. Güvenirlik, istatistik analiz ve olasılık teorisine dayanmaktadır. Bir tasarımda, elemanların hem emniyet hem de güvenirlik parametrelerinin matematiksel olarak belirlenmesi en uygun çözümdür [1, 2].

Güvenirlilik, karakteristik bir özellik olup, bir malzemenin veya tasarımın kendi koşullarında belirlenen ömrü veya mekanik özellikleri gerçekleştirip gerçekleştiremeyeceğini açıklar [3]. Ülkemizde çelik üretim sektöründe güvenirlik, bugüne kadar ihmal edilmiş bir kavramdır. Ancak güvenirlik kavramı, üretilen çelik profillerden konstrüksiyon oluşturacak tasarımcılar için önem arz etmektedir. Tüm sektörlerde

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : can.civi@cbu.edu.tr

kullanılan çeliklerin farklı çalışma şartlarında ve/veya farklı zorlanmalar altında görevini yapma gerekliliği, çelik profillerin güvenilirlik esasına göre tasarlanmasını gerekli kılmaktadır.

Güvenirlilik fikri, ilk defa 2. dünya savaşında kullanılan savaş araçları ile ilgili olarak ortaya atılmıştır. Savaştan sonra bu fikir gelişim göstererek, makine konstrüksiyonu alanında uygulanmaya başlanmıştır [4-6]. Günümüzde güvenilirlik, makine konstrüksiyonunu teşkil eden ana fikir olarak kabul edilmektedir [7]. Türkiye’de imal edilen metal malzemelerle ilgili verilen kataloglarda statik sınır mukavemet değerleri için sadece “minimum maksimum” kopma [N/mm²], akma [N/mm²] gerilme değerleri verilmektedir. Güvenirlilik [%] hakkında hiçbir bilgi verilmemektedir. Bu hususta istatistiksel verilerin oluşturulması önemli bir gerekliliktir. İstatistiksel verilerin işlenmesinde frekans poligonu, birikimli frekans diyagramı ve histogramlarla basit ön incelemeler gerçekleştirilebileceği gibi, deney sayılarının artırılması ile çeşitli eğriler oluşturularak istatistiksel incelemeler daha doğru şekilde gerçekleştirilebilir [8].

Bu çalışma kapsamında çelik ve özellikle vasıflı çelik üretiminde üretilen çeliğin mekanik testlerinde güvenilirlik kavramı ele alınmış ve örnek sayısal bir uygulama üzerinden yapılan analiz ile kavramın getirisi ve gerekliliği ortaya konmaya çalışılmıştır.

2. GÜVENENİRLİK KAVRAMI (DEFINATION OF RELIABILITY)

Herhangi bir teknik sistem, belirli bir fonksiyonu belirli şartlar altında, öngörülen belirli bir zaman aralığında üstlenmek üzere belirli bir amaç için tasarlanır. Güvenirlilik, bu teknik sistemin kendisinden beklenen amacı gerçekleştirme olasılığı ele alır. Konstrüksiyon, imalat-montaj, kalite kontrol, kullanım, bakım gibi olgular teknik sistemin işe yararlık durumunu doğrudan etkiler [7]. Güvenirlilik, ürün özelliklerinin, ürüne uygulanan testlerin ve ürünün kullanım ömrünün incelendiği bir kavramdır [9]. Güvenirlilik teorisi, güvenirlilik problemlerini istatistiksel yollarla çözmenin matematiksel yaklaşımıdır. Güvenirlilik çok farklı sayıda uygulamalı bilim dalını kapsamakta ve ölçüm güvenirliliği de bu alanlar arasında yer almaktadır. Güvenirlilik, malzemelerin yalnızca bazı kısımlarından elde edilen belirli sayıdaki ölçümlerin (testler) bütünü temsilindeki istatistiksel durumunu da analiz eder [10]. Güvenirliliğin ilgilendiği bir diğer alan da ömür değerleridir. Tasarımlar gerçekleştirilirken, tasarımdaki parçaların %90’ına yakınının dinamik (değişken) yükler altında çalışacağı ve burada yorulma ve ömür konusu ile karşılaşılacağı öngörülmelidir. Yorulma, değişken yükler altında çalışan malzemenin veya makine parçalarının mekanik özellik değerlerindeki azalma olarak tanımlanabilir. Genelde yorulma, herhangi bir yapıyı veya bu yapıdaki parçalardan bazılarını etkileyen bir problemdir. Tipik olarak dinamik zorlanmada hasar, statik zorlanmadaki maksimum gerilme değerlerinden çok daha düşük seviyelerde gerçekleşir [11,12]. Bir

tasarımda dinamik bir yük söz konusuysa burada mutlaka ömür analizleri yapılmalı ve tasarlanan her parça için bir ömür öngörüsü olmalıdır. Özellikle çeliklerin dinamik gerilme altındaki boyutlandırılmalarında önemli bir parametre olarak ele alınan sürekli mukavemet sınırlarının malzemenin kopma dayanımları ile bağlantılı olduğu bilinmektedir. Güvenirlikli ömür analizleri için de üretilen çeliklerin mekanik özelliklerinin istatistiki incelemeleri önem taşımaktadır [13].

3. TÜRKİYE’DE DEMİR-ÇELİK SEKTÖRÜNÜN MEVCUT DURUMU (CURRENT STATUS OF IRON-STEEL INDUSTRY IN TURKEY)

Demir-Çelik imalatı sektörü ülke ekonomisinin gelişmesinde önemli rol oynayan bir sektördür. Demir çelik ürünlerinin birçok sektörde girdi olarak kullanılması bu düşüncüyü açıklamaktadır. 2016 yılı çelik sektöründe üretimin yeniden yükseliş trendine girdiği bir yıl olmuştur. 2007-2012 aralığında, en büyük on çelik üreticisi ülke arasında, Çin ve Hindistan’ın ardından, üretimini en hızlı arttıran 3. ülke, Türkiye’dir. 2012-2015 aralığında ise %12.2 oranında üretimde azalma meydana gelmiştir. Sektördeki üretim miktarlarının arka arkaya üç yıl gerilemesini müteakiben, 2015 yılında 31.5 milyon tona kadar düşen Türkiye’nin ham çelik üretimi, 2016 yılında %5.2 oranında artışla, 33.2 milyon tona ulaşmıştır. Buna rağmen, üretim 2012 yılındaki seviyesinin %7.6 oranında altında kalmıştır [14]. Günümüzde demir-çelik sektörlerinde imalat, yüksek fırına dayalı üretim yapan entegre tesisler ve elektrik ark ocaklı tesisler tarafından yapılmaktadır. Hurda fiyatlarındaki artışın ve entegre tesislerin hammaddesi olarak tanımlanan cevher fiyatlarındaki inişin sonrasında hurda ile cevher fiyatları arasındaki makasın genişlemesinin etkisiyle elektrik ark ocaklı tesislerin ham çelik imalatı 2015 yılında %13.8 düşüşle 20.48 milyon tona gerilerken, entegre tesislerin ham çelik imalatı %7.3 artışla 11.03 milyon tona yükselmiştir [15].

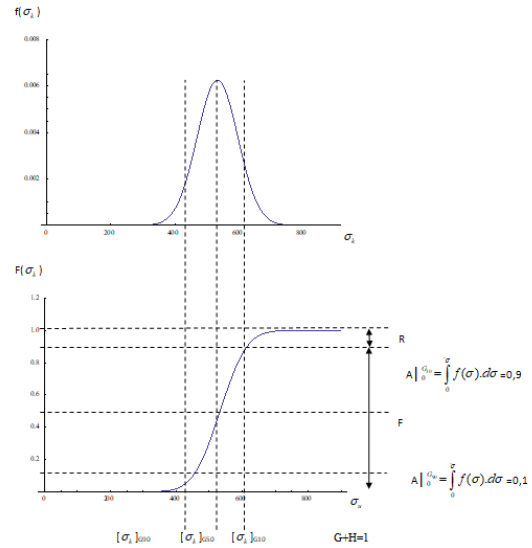
Türkiye’de 31 adet çelik üreticisi bulunmaktadır. Bunlardan Erdemir, Kardemir ve İsdemir Entegre Bazık Oksijen Fırını kullanırken diğerleri Elektrik Ark Ocağı kullanmaktadır. Özkan Demir Çelik Sanayi A.Ş., Habaş, Ege Çelik, İzmir Demir Çelik, Sider, Çebitaş Demir Çelik Endüstrisi A.Ş., Egedemir, MMK Metalürji San. Tic. Ve Liman İşl. A.Ş., Nursan Metalürji Endüstrisi A.Ş., Yazıcı Demir Çelik San. Ve Turizm Tic. A.Ş., Ekinciler, Egemen, Tosçelik Profil ve Sac End. A.Ş., Baştuğ Metalürji San. A.Ş., Koç Metalürji, Platinum Demir Çelik San. Ve Tic. A.Ş., Kaptan Demir Çelik End. Ve Tic. A.Ş., İçdaş Çelik Enerji Tersane ve Ulaşım San. A.Ş., Asil Çelik San. Ve Tic. A.Ş., Çemtaş Çelik Makina San. Ve Tic. A.Ş., Çolakoğlu Metalürji A.Ş., Diler Demir Çelik Endüstrisi ve Tic. A.Ş., Kroman Çelik Sanayi A.Ş., Sıddık Kardeşler Haddecilik San. ve Tic. A.Ş., Bilecik D.Ç., Makine Kimya Endüstrisi Kurumu, Yeşilyurt Demir Çelik End. Ve Liman İşl. Ltd. Şti. ve Sivas D.Ç. Elektrik Ark Ocağı kullanmaktadır.

2010 yılı itibarıyla tüm Avrupa ülkelerinin Dünya ham çelik imalatındaki pazar payı %14.6'dır. Türkiye %2.1'lik pazar payı ile Almanya'nın ardından Avrupa'daki en büyük ikinci ham çelik üreticisi konumundadır. Avrupa'da Türkiye'den sonraki büyük çelik üreticisi %1.8'lik 2010 yılı pazar payı ile İtalya'dır [16]. Dünyada teknolojik bakımdan gelişmiş olarak kabul edilen ülkeler, demir-çelik üretiminde miktardan ziyade; vasıflı ve katma değeri yüksek çeliklerin üretimine yönelmişlerdir. Vasıflı çelik; kendisinden beklenen kimyasal, metalürjik, mekanik ve fiziksel özellikleri sağlayan ve güvence altına alan, üretimin en son adımında, tüm kontrol, muayene ve onarım işlemleri yapılarak, bu özellikleri garanti altına alan, karbon, orta ve yüksek alaşımlı çelik mamulleridir. TÜİK verilerine göre vasıflı çelik ihracatımız 2013 yılından 2017 yılına kadar yaklaşık 2.5 kat artarak 663.661 tona ulaşmıştır. Buna karşın ithalat miktarında da artış gözükmektedir. 2013 yılında 1.418.232 ton olan vasıflı çelik ithalatımız 2017 yılında 2.848.729 ton seviyelerine ulaşmıştır [17].

Türkiye'deki ham çelik imalatının dörtte üçü kadarı ark ocaklı tesisler, dörtte biri kadarı ise entegre tesisler tarafından üstlenilmektedir. Sektörün yoğun olarak ark ocaklı tesislere yönelmesi, yatırımın daha kolay olmasından ve Türkiye'de entegre tesislerin temel hammaddesi olan demir cevherinin mevcut olmamasından kaynaklanmıştır [16].

4. ÇELİKLERİN MEKANİK TESTLERİNDE GÜVENİRLİK ANALİZLERİ (RELIABILITY ANALYSIS OF MECHANICAL TESTS OF STEELS)

Güvenilirlik değerlendirmesi için rasgele değişkenlerin olasılık dağılımları elde edilmelidir. Genel olarak, olasılık dağılımları, istatistiksel verilerin ortalama ve standart sapmasından değerlendirilen parametreler kullanılarak belirlenir. [18]. Güvenilirlik analizlerinde yapılan analize uygun olacak şekilde birçok farklı dağılım kullanılabilir [19]. Bu dağılımlardan rastgele değişkenin dağılımı için en yaygın kullanılan model normal dağılımdır. Normal dağılımın diğer adı Gauss dağılımıdır [20]. Normal dağılımın, gaz molekülü hızı, aşınma, ses, alüminyum alaşımlı çeliklerin gerilme mukavemeti, elektriksel kondansatörlerin kapasite değişimi, bir alanda elektriksel güç tüketimi, jeneratör çıkış gerilimi ve elektrik direnci gibi birçok farklı örnek uygulaması gösterilmiştir ve dağılım birçok farklı sistemin fiziksel, mekanik veya kimyasal özelliklerini modellemek için kullanılır [21]. Literatürde çelik malzemelerin mukavemet ve sertlik testlerinde elde edilen değerlerinin de normal dağılıma uyum gösterdiği belirtilmiştir [7, 22]. Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen çeliklerin kopma dayanımı üzerine gerçekleştirilen ve Gauss dağılımı (normal dağılım) kullanılarak yapılan örnek bir analiz, Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Toz metal çeliğin kopma dayanımı üzerine yapılan bir güvenilirlik incelemesi [22] (A reliability study on the tensile strength of a powder metal steel).

Şekil 1'de de görüldüğü gibi analizlerde elde edilen verilerin farklı güvenilirlikteki değerleri grafiklerden elde edilebilmektedir. Bu grafiklerin elde edilmesinde ve analizlerde aşağıdaki denklemler kullanılmaktadır:

Belirli bir statik dayanım değeri için, herhangi bir mekanik değerlerin ortalaması;

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

Standart sapma;

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2)$$

Herhangi bir güvenilirlik değerine sahip mekanik özellik değeri;

$$[X]_{GXX} = \bar{X} \pm z \cdot S_x \quad (3)$$

Olarak ifade edilebilir Burada X değerlendirilecek mekanik özellik değerini, S, standart sapmayı ve G, elde edilmesi istenen güvenilirlik değerini ifade etmektedir. Buradaki z değeri, standart normal dağılım tablosundan elde edilmektedir. Örnek olarak % 90 güvenilirlik değeri için z tablosundan alınan değer kullanılarak bir malzemenin kopma dayanımı (σ_K) değerleri analiz edildiğinde;

$$[\sigma_K]_{G90} = \bar{\sigma}_K - 1.28 \cdot S_{\sigma_K} \quad (4)$$

Denklemleri kullanılabilir. Burada denklemden kopmama (kopma hasarına uğramama) güvenilirliği değerinin hesabı belirtilmiştir. Ayrıca kopma güvenilirliği hesabı da yapılabilir. Aşağıda çelik üretiminde örnek bir güvenilirlik analizi yer almaktadır.

5. ÇELİK ÜRETİMİNDE AKMA VE KOPMA DEĞERLERİNİN ÖRNEK BİR GÜVENİRLİK ANALİZİ (A SAMPLE RELIABILITY ANALYSIS OF YIELD AND TENSILE STRENGTH IN STEEL PRODUCTION)

Çelik üretiminde güvenilirlik için bakış açısı oluşturmak ve bu analizlerinin basit bir uygulamasını incelemek üzere bu çalışmada örnek bir analiz olarak, Özkan Demir Çelik Sanayi A.Ş bünyesinde üretilen S355JR (EN 10025-2) çeliğinin çekme deneyi ile elde edilen akma ve kopma dayanımı değerleri ele alınmıştır. Çeliğin kimyasal özellikleri Çizelge 1’de görülmektedir.

Çizelge 1. S355JR (EN 10025-2) Çeliği Kimyasal Özellikleri (Chemical Properties of S355JR (EN 10025-2) Steel)

C %	Si %	Mn %	P %	S %	V %
0.19-0.23	0.18-0.24	0.96-1.07	0.004-0.011	0.005-0.023	0.020-0.026

Güvenirlik analizinin doğruluğunun yüksek olması amacı ile 24 adet çelik numuneye çekme testi gerçekleştirilmiştir. Çekme test sonuçları Çizelge 2’de görülmektedir.

Çizelge 2. S355JR (EN 10025-2) Çeliği Çekme Test Sonuçları (Tensile Test Results of S355JR (EN 10025-2) Steel)

Numune No	Akma Dayanımı (N/mm ²)	Kopma Dayanımı (N/mm ²)
1	395	575
2	400	548
3	406	557
4	409	566
5	401	554
6	394	552
7	425	581
8	379	541
9	417	579
10	442	579
11	407	562
12	406	570
13	413	577
14	403	565
15	396	562
16	409	580
17	397	566
18	417	549
19	382	542
20	401	560
21	385	561
22	408	574
23	419	571
24	400	577

Güvenirlik analizleri için literatürdeki bilgiler doğrultusunda normal dağılım kabulünden yola çıkılmıştır. Ayrıca normal dağılımı kanıtlamak üzere Shapiro-Wilk normallik testi gerçekleştirilmiştir. Akma gerilmesi için p=0.56206 ve Kopma için p=0.17636 değerleri elde edilmiştir ve dağılımlar p>0.05 olduğu için normal dağılıma uymaktadır. Güvenirlik analizlerinde kullanılan denklemler aşağıda yer almaktadır. σ , Akma veya kopma dayanımı değerlerini ifade etmektedir.

$$\bar{\sigma} = \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_i}{n} \quad (5)$$

$$S_{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\sigma_i - \bar{\sigma})^2}{n - 1}} \quad (6)$$

Denklem (4), (5) ve (6) kullanılarak ve z dönüşümü ile standart normal dağılım tablosundan okunan değerler vasıtası ile farklı güvenilirlik değerlerine sahip akma ve kopma gerilmesi değeri elde edilebilir. Bu değerler Çizelge 3 ve Çizelge 4’te görülmektedir.

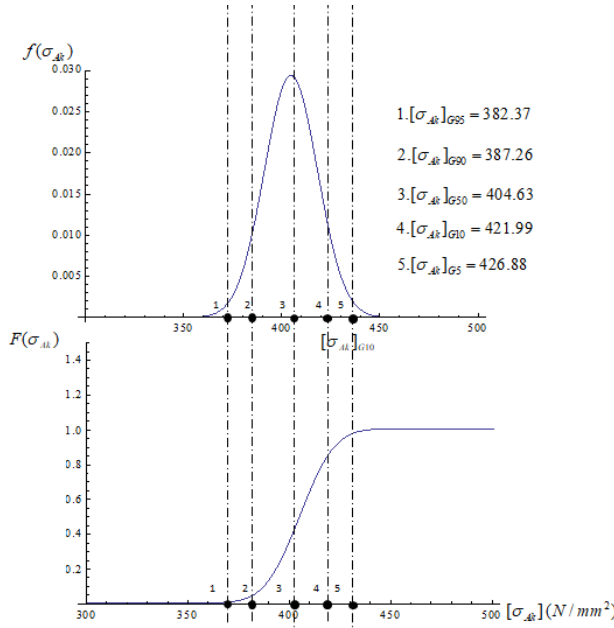
Çizelge 3. S355JR (EN 10025-2) Çeliği Akma Gerilmesi Değerlerinin Güvenirlik Analizi (Reliability Analysis of Yield Stress Values of S355JR (EN 10025-2) Steel)

$[\sigma_{Ak}]_{G50}$	$[\sigma_{Ak}]_{G90}$	$[\sigma_{Ak}]_{G95}$
404.63	387.26	382.37

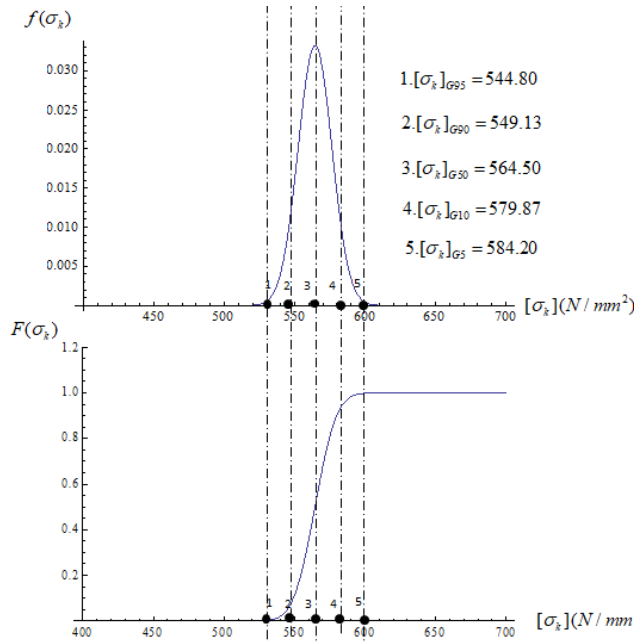
Çizelge 4. S355JR (EN 10025-2) Çeliği Kopma Gerilmesi Değerlerinin Güvenirlik Analizi (Reliability Analysis of Tensile Stress Values of S355JR (EN 10025-2) Steel)

$[\sigma_k]_{G50}$	$[\sigma_k]_{G90}$	$[\sigma_k]_{G95}$
564.50	549.13	544.80

Çizelge 3 ve Çizelge 4’te de görüldüğü gibi, güvenilirlik değerleri yükseldikçe, tasarımlarda kullanılacak olan mekanik dayanım değerleri düşüş gösterir. Şekil 2 ve Şekil 3’te S355JR (EN 10025-2) Çeliğinin akma ve kopma dayanımı değerlerinin normal ve birikimli (kümülatif) dağılım eğrileri görülmektedir.



Şekil 2. Akma Dayanımı Değerlerinin Normal ve Kümülatif Dağılım Eğrileri (Normal and Cumulative Distribution Curves of Yield Strength Values)



Şekil 3. Kopma Dayanımı Değerlerinin Normal ve Kümülatif Dağılım Eğrileri (Normal and Cumulative Distribution Curves of Tensile Strength Values)

Şekil 2 ve 3'te görüldüğü gibi, çekme deneyi gerçekleştirilen çeliğin akma ve kopma dayanımı değerlerinin normal ve birikimli dağılım eğrileri çizdirildiğinde, istenen herhangi bir güvenilirlik aralığı için kullanılacak değer, grafiklerden okunabilir. Şekillerde %5-10-50-90 ve 95 güvenilirlik değerlerine karşılık gelen akma ve kopma değerleri belirtilmiştir. Bu da tasarımcıların kullanacağı mukavemet değerlerinde istedikleri güvenilirlikli değerleri seçmelerine ve hem

nümerik analizlerde hem de sayısal hesaplamalarda bu değerleri kullanmalarını sağlayacaktır. Aynı şekilde sertlik ölçümleri, tane boyutu analizleri, çentik darbe deneyi verileri vs. gibi diğer tüm mekanik veya mikroyapı inceleme değerlerinin verileri, uyum gösterdiği dağılımlar tespit edilerek analiz edilebilir. Bu sayede tüm bu testler için güvenilirlik analizleri gerçekleştirilebilir.

Güvenirlik analizinin tasarım hesaplarına örnek olarak yansıtılması Denklem (7), (8) ve (9)' da görülmektedir. Makine parçalarının tasarımlarında genel olarak kullanılan denklemlerden biri olan Soderberg denklemi göz önüne alınırsa, σ_{ort} , ortalama gerilme, σ_D^* makine parçasının sürekli mukavemet sınırı, σ_g genlik gerilmesi olmak üzere, % 90 güvenilirlik için denklem aşağıdaki şekle dönüşür [8,23].

$$\sigma_{ort} + \frac{[\sigma_{Ak}]_{G90}}{[\sigma_D^*]_{G90}} \cdot \sigma_g = \frac{[\sigma_{Ak}]_{G90}}{S_{em}} \quad (7)$$

Örneğin, tam değişken bir eğilme gerilmesi için silindirik bir şaftta %90 güvenilirlikli çap aşağıdaki şekilde elde edilebilir.

$$[d]_{G90} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot M_e}{\sigma_g \cdot \pi}} \quad (8)$$

Benzer bir yaklaşım gözetilerek, makine parçalarının ömür analizlerinde kullanılan logaritmik denklemlerde güvenilirliği yüksek mekanik özellik değerlerinin kullanımı, ömür denklemlerin güvenilirliğini de artırmaktadır [24-26]. Bu yaklaşım denklem (9)'da görülmektedir

$$[\text{LogN}]_{G90} = 3 + 3 \left[\frac{0,9 \cdot [\sigma_k]_{G90} - \sigma_g}{0,9 \cdot [\sigma_k]_{G90} - [\sigma_D]_{G90}} \right] \quad (9)$$

Denklem (9) vasıtası ile %90 güvenilirlikli logaritmik çevrim olarak ömür değerinin denklemi, Wöhler eğrileri vasıtasıyla süreli ömür değerleri için elde edilebilir.

6. SONUÇ (CONCLUSION)

DeneySEL çalışmalarda veya ticari kataloglarda verilen ortalama değerler ya da değer aralıkları, ancak %50 güvenilirlik değerlerine tekabül etmektedir. Ancak, bir tasarımcın konstrüksiyonu tasarlariken kullanacağı elemanların malzeme seçimleri için ortalama (%50 güvenilirlikli) değerleri kullanması, özellikle kritik tasarımlarda, güvenirlüğün düşük olmasına yol açmaktadır. Tasarımın kritiklik durumuna göre tasarım hesaplarında daha yüksek güvenilirlikteki değerler kullanılmalıdır. Kritiklik düzeyi düşük tasarımlarda ise daha düşük güvenirlıklar alınarak boyutlar ve buna bağlı olarak ağırlıklar ve maliyetler düşürülebilir. Bu hususlar göz önüne alınarak hem üretimlerde hem de tasarımlarda güvenirlık analizlerinin gerçekleştirilmesi önem arz etmektedir. Üreticiler bu hususta katalog değerleri olarak minimum ve maksimum değerlerin yerine yapacağı istatistiksel hesaplarla çeşitli güvenirlık aralıklarını tablolara yansıtmalıdır.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Tahralı N. “Konstrüksiyon Elemanlarında Güvenirlik Emniyet Ve Ömür Değerlendirmeleri”. İstanbul, **5. Savunma Sanayindeki Teknolojik Gelişmeler Sempozyumu**, Kara Harp Okulu, Ankara Bildiriler Kitabı: 921-930, 5-6 Haziran, (1997).
- [2] Tahralı N. Dikmen F. “Reliability and life calculations for machine elements”. **Yıldız Technical University Press**, İstanbul, (2004).
- [3] Ebelign C.E. “Reliability engineering: theory and practice (6th ed.)”, **Springer**, Zürich, (2010).
- [4] Carter AD. S. “Mechanical Reliability”, **Macmillan**, London (1972).
- [5] Lipson, C., Sheth, N. J. “Engineering Experiments”, **McGraw-Hill Book Company**, New York, (1973).
- [6] Pieruschaka, E. “Principles of Reliability”, **Prentice Hall**, New Jersey., (1963).
- [7] Akkurt, M. “Makine Kontrüksiyonunda Güvenirlik”. **Birsen Yayınevi** İstanbul, (1997).
- [8] Tahralı N. Atik E. Çivi C. “Konstrüksiyon Elemanlarında Güvenirlik (Reliability) ve Ömür Hesapları”, Teorik Açıklamalar ve Uygulamalar, **Seçkin Yayıncılık**, Ankara, (2017).
- [9] Condra L.W. “Reliability improvement with design of experiment, second ed.”, **CRC Press**, New York, (2001).
- [10] Klaassen, K.B. Van Peppen, J.C.L, “System reliability: concepts and applications, first ed.”, **VSSD**, Netherlands, (1989-2006).
- [11] Meyers M. A. Chawla K. K. “Mechanical Behavior of Materials”, **Prentice Hall**, (1999).
- [12] Saatçi, G.E. Tahralı N. “Birikimli Hasar Teorileri ve Hareket İletim Elemanına Uygulanması”. **Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi**, 1(1): 21-30, (2003).
- [13] Tahralı, N. Atik E. “Konstrüksiyon Elemanlarında Güvenirlik ve Ömür Hesapları, Teorik Açıklamalar ve Uygulamalar”, **Celal Bayar Üniversitesi Yayınları**, Manisa, (2012).
- [14] Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği “38.Türkiye Demir Ve Demir Dışı Metaller Meclisi SektörRaporu”. (2016).
- [15] Maden Metal Ve Orman Ürünleri Daire Başkanlığı-Ekonomi Bakanlığı Raporu, “Demir-Çelik, Demir-Çelikten Eşya Sektörü”, (2016).
- [16] Ersöz T. Dügenci M. Ünver M. Eyiol B. “Demir Çelik Sektörüne Genel Bir Bakış ve Beş Milyon Ton Üstü Demir Çelik İhracatı Yapan Ülkelerin Kümeleme Analizi ile İncelenmesi”. **Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 4(2): 75-90, (2015).
- [17] Tuna, C. Gökçül, K. Erçay H. Dikici T. “Investigation on the effect of boron on the hardenability of high strength structure steel”. **3.Uluslararası Malzeme Bilimi Ve Teknolojisi Konferansı** Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Nevşehir, 17-19 Eylül (2018).
- [18] Zhao Y.G. Zhang X.Y Lu Z.H. “A flexible distribution and its application in reliability engineering”. **Reliability Engineering & System Safety** 176: 1–12, (2018).
- [19] Gnedenko B. Ushakov I. “Probabilistic Reliability Engineering”, **John Wiley & Sons**, New York, (1995).
- [20] Montgomery D.C. Runger G.C. “Applied statistics and probability for engineers, third ed.”, **John Wiley & Sons**, United States of America, (2003).
- [21] Ireson, W.G. Coombs, C.F. Moss, R.Y. “Handbook of reliability engineering and management, second ed.”, **McGraw – Hill**, New York, (1996).
- [22] Çivi C. Tahralı N. Atik E. “Reliability Of Mechanical Properties Of Induction Sintered Iron Based Powder Metal Parts”. **Materials & Design**, 53: 383–397, (2014).
- [23] Shigley JE “Shigley’s mechanical engineering design Ninth Edition” Tata **McGraw-Hill Education**, (2011).
- [24] Dikmen F, Bayraktar M, Guclu R, “Railway axle analyses: Fatigue damage and life analysis of rail vehicle axle” **Stroj Vestnik/Journal Mech Eng** 58: 545–552, (2012).
- [25] Bayraktar M, Tahralı N, Guclu R, “Reliability and fatigue life evaluation of railway axles” **J Mech Sci Technol**, 24: 671–679, (2010).
- [26] Bayraktar M, Guclu R, Tahralı N, “A New Approach for Reliability Life Prediction of Rail Vehicle Axle by Considering **Vibration Measurement**” **Math Probl Eng**, 1–12, (2014).