



Vinç Kancalarının Farklı Malzeme Özellikleri ve Yükleme Kapasitelerine Göre Yorulma Dayanımlarının İncelenmesi

Ali SARI¹, Ömer Faruk NEMUTLU^{2*}

¹ İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

² Bingöl Üniversitesi, Enerji, Çevre ve Doğal Afet Çalışmaları Uygulama ve Araştırma Merkezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bingöl, Türkiye

Ali SARI ORCID No: 0000-0002-6888-1276

Ömer Faruk NEMUTLU ORCID No: 0000-0001-7841-3911

*Sorumlu yazar: ofnemutlu@bingol.edu.tr

(Alınış: 25.07.2020, Kabul: 15.12.2020, Online Yayınlanma: 30.12.2020)

Anahtar Kelimeler
 Vinç
 Kancası,
 Kırılma
 Mekanığı,
 Yorulma
 Dayanımı,
 Statik Yük
 Testi

Öz: Genel olarak endüstride kullanılan vinç kancalarının nakliye, inşaat ve imalat gibi çeşitli sektörlerde önemli bir görevinin olması araştırmacıların bu alanda çalışmalar yapmasını gerektirmiştir. En genel anlamda şekillerine göre isimlendirilen kancalar basit kancalar, çift ağızlı kancalar ve lamelli kancalar olarak sınıflandırılırlar. Kancalar, işlev olarak yer yer değişim gösterebilmesinin yanında genel olarak bir malzemeyi kaldırmak, bir yerden başka bir yere taşımak ve ağır yükleri yükseltmek amacıyla kullanılırlar. Emniyetli bir şekilde kaldırma, taşıma ve yükseltme işlerini yapabilmesi ve çok büyük ve tekrarlı yüklere maruz kalmasından dolayı en büyük çekme yükleri yani yük kapasiteleri, yorulma testleri ve analizleri yapılarak yorulma ömürlerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada kapsamında 2 ton karbon ve alaşım, 3 ton karbon ve alaşım, 15 ton alaşım ve 25 ton karbon kancalar çeşitli statik ve yorulma testlerine tabii tutulmuştur. Yorulma testlerinden elde edilen veriler yardımıyla kanca tiplerine ait Gerilme-Döngü Sayısı (S-N) eğrileri oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında yorulma analizlerinde kullanılacak S-N eğrileri bir başka deyişle Wöhler eğrileri bir malzemenin hasar meydana getiren çevrim sayısına karşı gelen gerilme genliğinin büyüklüğünü ifade eden eğrilerdir. Bu çalışmada farklı malzemelerden yapılmış ve farklı statik yük kapasitesindeki kancaların yorulma dayanımları, elde edilen S-N eğrileri kullanılarak karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, karbon kancaların alaşım kancalara göre daha yüksek çekme yük kapasitesine sahip olduğu, yorulma ömrüne kancaların büyüklüğünün etki etmediği, karbon kancaların alaşım kancalara göre daha uzun yorulma ömrüne sahip olduğu gözlemlenmiştir.

190

Evaluation of Fatigue Strength of Crane Hooks Considering Material Properties and Load Capacities

Keywords
 Crane Hook,
 Fracture
 Mechanics,
 Fatigue
 Strength,
 Static Load
 Test

Abstract: The fact that crane hooks used in the industrial industry have an essential role in various sectors such as transportation, construction, and manufacturing required the researchers to work in this field. Hooks, which are named according to their shapes in the most general sense, are classified as simple hooks, double rim hooks, and lamellar hooks. Hooks are generally used to lift objects, to move them from one place to another, and to lift up heavy loads. Since they are exposed to large and repetitive loads due to their ability to safely lift, transport heavy loads, it is of great importance to determine the strength and the fatigue life of the hooks by analysis or testing. In this study, fatigue and static tests are performed for 2-ton carbon, 2-ton alloy, 3-ton carbon, 3-ton alloy, 15-ton alloy, and 25-ton carbon hooks. Stress-Number of Cycles (S-N) curves, in other words Wohler curves, are developed utilizing data obtained from the fatigue tests. S-N curves illustrates the stress level on a material for a given number of cycles that cause damages. It is possible to identify a mechanical part, for example, the cumulative damage of a hook, and the loading history of that part by the S-N curve. In this study, the fatigue lives of hooks with different material properties and sizes are compared. As a result of the study, it has been observed that carbon hooks have higher tensile load capacity than alloy hooks, hook size does not have any significant effect on the fatigue life of the hooks, and the carbon hooks have a longer fatigue life than the alloy hooks.

1. GİRİŞ

Vinç kancaları nakliye, inşaat ve imalat gibi çeşitli endüstrilerde genellikle malzemeleri bir yerden başka bir yere taşımak, bir malzemeyi kaldırmak veya ağır yükleri yükseltmek için kullanılan oldukça önemli bir bileşendir. Vinç kancaları gezer vinç, portatif vinçler, kule vinç, yükleyici vinç gibi yükleri tutmak ve kaldırmak için kullanılan makinelerin önemli bir elemanıdır. Büyük yükler altında önemli gerilmelere maruz kalan kancalar, belirli bir süre sonunda gerilme birikmesi sonunda göçme durumuna ulaşırlar. Vinç kancasının genel şeması Şekil 1'de gösterilmiştir.



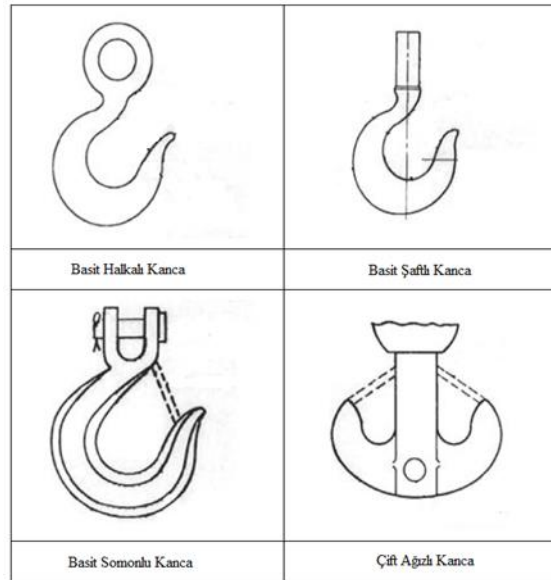
Şekil 1. Vinç Kancası[1]

Temel olarak bir kaldırma zincirinin bir halkasına veya bağlantısına veya bir zincir veya kablo soketinin pimine geçmek için tasarlanmış bir kaldırma tertibatıdır. Yamuk, dairesel, Kare, I kesit, T kesit ve üçgen kesitli vinç kancaları yaygın olarak kullanılmaktadır. Vinç kancaları hayati bileşenlerdir ve çoğu zaman nihayetinde arızaya yol açan büyük miktarda gerilme birikimi nedeniyle göçmeye maruz kalırlar. Vinçler sürekli yükleme ve boşaltma işlemine tabi tutulur. Bu, vinç kancasının yorulmasına neden olur. Vinç kancasında çatlak gelişirse, kancanın kırılmasına ve ciddi kazalara neden olabilir. Eğilme gerilmesi, çekme gerilmesi, aşınmaya bağlı olarak kanca kesitinin zayıflaması, aşırı yüklemeye bağlı olarak plastik şekil değişimlerinin meydana gelmesi, termal yüklemelere maruz kalmak kancaların hasar uğramasında rol oynayan etmenlerdir. Bu nedenle en büyük performansın hatasız olarak sunulması için tasarlanmalı ve üretilmelidir. Vinç kancasının yanlış tasarımı önemli kazalara neden olur [1]. Her yıl yanlış kaldırma prosedürleri yaralanmalara, çalışmaların durmasına ve mal kaybına neden olur. İnsanların, makinelerin, yüklerin, yöntemlerin ve çalışma ortamının yeterli güvenlik önlemlerinin tam olarak alındığı zamanlarda, kaldırma kazalarının azaltılabileceği görülmektedir. Genellikle kanca üzerinde kancaya takılan yüklerin sıyrılıp düşmemesi için kanca üzerine güvenlik mandalı eklenir. Ayrıca kancaların tasarımı sırasında güvenlik katsayılarının yüksek olması gerekir. Kökçü'nün çalışmasında belirttiği gibi en ağır yük taşıyan kancalarda güvenlik katsayısı en küçük 5 olmalıdır [2, 3]. Ayrıca kanca üzerinde belirli bölgelerin güvenlik açısından dikkatli şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir. Şekil 2'de belirtilen bölgelerde; 1. Bölgede ve 3. Bölgede aşınma ve yıpranma olup olmadığı, 2. Bölgede ise bükülme ve çatlak olup olmadığı düzenli olarak kontrol edilmelidir [4-6].



Şekil 2. Kanca Güvenlik Bölgeleri[5]

Kancalar genellikle şekillerine göre isimlendirilirler. Kaldırma makinelerinde kullanılan kancalar genellikle 3 sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar sırasıyla basit kancalar, çift ağızlı kancalar ve lamelli kancalardır [2, 4, 7]. Şekil 3'te çeşitli kanca tiplerine ait örnekler verilmiştir. Kancalar üretimi sırasında serbest ya da kalıpta dövülerek, DIN 15400 standartlarına uyumlu malzemelerden üretilmektedir. Bu malzemelerden üretilen kancalarda kullanılan çelikler ise DIN 17102 ve DIN17103 standartlarına uymalıdır [8, 10].

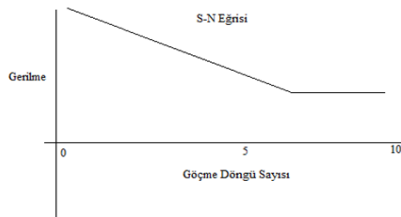


Şekil 3. Kanca Tipleri

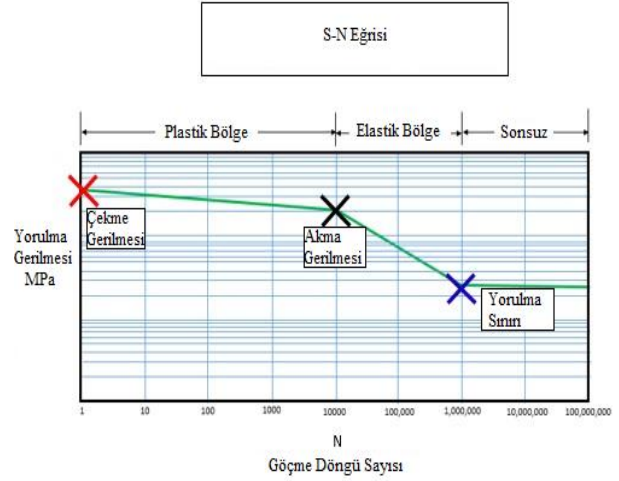
Literatürde vinç kancalarının statik ve yorulma analizleriyle ilgili bir çok çalışma mevcuttur. Yapılan çalışmalarda genellikle kancaların yükleme altındaki davranışı, çatlak ilerlemesi, S-N eğrileriyle yorulma analizleri ve farklı kesitlerdeki kanca tiplerinin davranışlarının karşılaştırılması üzerinedir. Sonsino, yaptığı çalışmada yüksek döngüde yorulma rejimine sahip elemanların yorulma mukavemetinde S-N eğrilerine bağlı olarak azalma olduğu sonucuna değinmiştir [11]. Qin vd., yapmış oldukları çalışmada nümerik bir BIRKPM metodu oluşturarak gerilme analizi yapmışlar ve bu alanda kullanılan sonlu elemanlar yöntemine ek bir çözüm önermişlerdir [12]. Torres vd., kancalarda göçmenin mevcut olan kontrolsüz bir kaynağın ısıdan etkilenen bölgesindeki çatlaklardan başladığını gösteren bir çalışma yapmışlardır ve bu çalışmanın sonuçları kancalardaki gevrek davranış ile

İlgili önemli bilgiler vermektedir [13]. Vinodh ve Ravikumar yaptıkları çalışmada sonlu elemanlar yönteminde kullanılan malzeme ve yük girdileri ile en büyük stres ve en büyük sapmaların olasılıksal bir değerlendirmesini yaparak vinç kancalarının tasarımında güvenlik faktörünün rastgele seçilmesinin önlenilebileceği üzerine araştırmalar yapmışlardır [14]. Sundriyal ise kancadaki göçmelerin kancanın geometrisine ve malzeme çeşidine bağlı olduğunu incelemek üzere 3 farklı kesite sahip kancalar üzerinde analizler yapmış ve çalışmanın sonucunda T kesite sahip kancaların en küçük gerilme değeri üzerlerine aldığını göstermiştir [1]. Bergaley ve Purohit ise yaptıkları çalışmada kancaları sonlu elemanlar yöntemine bağlı kalarak modelleyip bu modelden elde ettikleri sonuçları deney ortamında elde ettikleri sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Geometrik özelliklerin ve kesit tiplerinin değiştirilmesinin gerilmeyi etkilediğini göstermişlerdir [15]. Desai ve Zeytinoglu, vinç kancalarının geometrik özellikleri üzerine çalışmışlardır. Tasarım ve optimizasyon üzerine yaptıkları çalışmada farklı kesitler üzerinde yaptıkları analizlerde trapez kesitin gerilme konsantrasyonu göz önüne alındığında en verimli seçenek olduğu sonucuna varmışlardır [16]. Sahu vd., kanca tiplerinden trapez kesite sahip bir kanca üzerinde kancanın geometrik boyutları üzerinde değişiklikler yapıp gerilme ve şekil değiştirmeleri incelemişlerdir. Kancanın boyun bölgesindeki boyutun değiştirilmesinin gerilmeyi etkilediği görülmüştür [17].

Çalışma kapsamında yorulma analizlerinde kullanılacak S-N eğrileri bir başka deyişle Wöhler eğrileri bir malzemenin hasar meydana getiren çevrim sayısına karşı gelen gerilme genliğinin büyüklüğünü ifade eden eğrilerdir (Şekil 4). Mekanik bir parça örneğin bir kancanın birikimli hasarını ve bu parçanın yüklemeye geçmişini S-N eğrisi ile belirlemek mümkündür. [18, 20]. S-N eğrilerini elde edebilmek için metal eleman deney makinesine yerleştirilir. Hasar veya çatlak meydana gelene kadar eleman yüklenir. Ama bu işlemi farklı gerilme seviyelerinde ve farklı metal eleman üzerinden tekrarlanması gerekmektedir. Yüklemeler eleman üzerine yapıp sonuçlar alındıktan gerilme ve her bir gerilmeye karşı gelen çevrim sayısı eksenlerine göre S-N eğrisi oluşturulur. Bu S-N eğrilerinin plastik bölge, elastik bölge ve sonsuz ömür gibi çeşitli bölgeleri vardır ve bu bölgeleri ayıran çekme gerilmesi, akma gerilmesi ve yorulma sınırları vardır. Çekme gerilmesi çevrim sırasında hasar oluşması için gereken gerilme seviyesini ifade eder. Akma gerilmesi sınırı elastik ve plastik bölgeyi ayıran nokta olarak tanımlanır ve Yorulma sınırı, bu bölgenin üstündeki çevrimlerde hasar meydana geleceği anlamını taşır (Şekil 5) [21].



Şekil 4. Tipik bir S-N eğrisi



Şekil 5. S-N Eğrisinin Sınırları

Bu çalışmada da S-N eğrileri çeşitli kanca tiplerinin yorulma analizlerinde kullanılacaktır. Çalışmanın amacı alaşım ve karbon malzemelerden imal edilmiş, 2 ton, 3 ton, 15 ton ve 25 ton yüklemeye kapasitesine sahip kanca tiplerindeki kancaların yüklemeye testi ve çevrimli yükler altında yorulma testleri yapılarak çeşitli kancaların yüklemeye kapasitesi ve malzeme özelliğine göre yorulma ömürlerini belirlemektir. Bu amaçla çeşitli analizler farklı kanca tipleri üzerinde yapılmış ve ilerleyen bölümlerde detaylı olarak verilecektir. Elde edilen sonuçlar detaylı olarak gerekçeleri ile irdelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Bu bölümde çalışmada kullanılan malzemeler, bu malzemelere ait özellikler, test setupları hakkında bilgiler, kancaların geometrik özellikleri, kullanılan deney ekipmanları hakkında bilgiler verilecek ve uygulanan deneylerin nasıl gerçekleştirildiğinden bahsedilecektir. Statik test kurulumu 800000 Ib ile 5000000 Ib yük kapasitesi aralığına sahip universal bir test cihazıdır. Yorulma testi cihazı ise farklı yük kapasitesindeki kancalara ve çalışma yüklerine göre değişiklik gösterecek şekilde hazırlanmıştır. Çalışma kapsamında yapılacak olan yorulma testleri için 6 farklı kanca tipi seçilmiştir. Bunlar, 2 tonluk karbon, 2 tonluk alaşım, 3 tonluk karbon, 3 tonluk alaşım, 15 tonluk alaşım ve 25 tonluk karbon şaft kancalarıdır. Çalışma içerisinde yapılan değerlendirmelerde farklı tipteki kancalara isimlendirmeler verilmiştir. Çalışmanın bu bölümden sonraki kısımlarında bu kısaltmalar kullanılacaktır. İsimlendirme kapasitesi ve üretildiği malzemenin baş harfleri şeklinde olacaktır. Örn: 2 Tonluk Karbon Kanca: 2TKK. Bu isimlendirme düzenine göre 6 farklı kanca tipinin sırasıyla kısaltmaları şu şekilde olacaktır: 2TKK, 2TAK, 3TKK, 3TAK, 15TAK, 25TKK. Analiz testleri, seçilen örneklerin hem nihai yük testini hem de yorulma testini içerir. 6 nihai yük testi ve 47 yorulma testi yapılmıştır. Universal test makinelerinde (kapasiteleri 360 ton ile 2300 ton arasında değişen) 6 adet statik nihai yük testleri yapıldı. Statik testlerde, yorulma testlerine tabi tutulmamış vinç kancası örnekleri (yani, yeni örnekler) göçme testine tabi tutulmuştur. Test makineleri çıktı birimi olarak pound (Ib) kullandığı için sonuçlar bu birim cinsinden

dikkate alınmıştır. Yorulma testlerinde, çeşitli tip ve ebatlardaki kancalar hızlı bir şekilde yüklendi ve belirtilen yük ile boşaltıldı. Bu yükleme döngüsü göçmeye kadar sürdürüldü. Toplam 47 test yapıldı. Kancaların çalışma yükleri 2 ton, 3 ton, 15 ton ve 25 ton idi. Yorulma testleri sırasında kancalara farklı miktarda yük uygulanmıştır. Uygulanan bu farklı miktardaki yükler, çalışma yükünün yüzdesi ile tanımlanır. Yüzde çalışma yükü(%ÇY) aşağıdaki denklem 1 ile hesaplanır:

$$\%ÇY = \frac{\text{Maks. Uygulanan Yük} - \text{Min. Uygulanan Yük}}{\text{Kanca Kapasitesi}} \times 100 \quad (1)$$

Tablo 1. Yorulma Test Numuneleri ve Yükleri

Çalışma Yükü ton	Güvenlik Katsayısı	Test Yüklemleri				Ultimate Tasarım Yükü Ibs
		1*ÇY(Ibs)	1.5*ÇY(Ibs)	2.0*ÇY(Ibs)	3.0*ÇY(Ibs)	
2TKK	5	4409	6614	8818	13228	22046
3TKK	5	6614	9921	13228	19481	33069
25TKK	5	55115	82672	110230	165345	275575
2TAK	4.5	4409	6614	8818	13228	19481
3TAK	4.5	6614	9921	13228	19481	29762
15TAK	4.5	33069	49603	66138	99207	148810

3. BULGULAR

3.1. Statik Test Sonuçları

Toplam yedi adet statik test yapılmıştır. Test örnekleri şu numuneler seçilmiştir: 2TKK, 2TAK, 3TKK, 15TAK ve 25TKK. Ek yorulma testi için 3 ton alaşım kanca numuneleri kullanıldığından, 3 ton alaşım kancalar üzerinde statik bir test yapılmamıştır. Her test örneği, şekil değiştirmeleri ölçmek için çeşitli konumlarda strain gageler ile donatılmıştır. Toplamda, kancalarda dokuz adet strain gage bulunmaktadır: ikisi şaftta, dördü yanlarda, ikisi arkada ve biri önde olmak üzere. 25 tonluk kancada sadece yedi adet strain gage yerleştirilmiştir, çünkü gövdede strain gage bulunmamaktadır. Yapılan yükleme testleri sonucunda elde edilen en büyük çekme yüklerinin testlerde kullanılan kanca tiplerine göre değişimi Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2’deki verilen en büyük çekme yükleri incelendiğinde 2 tonluk kancalardan alaşım kancanın en büyük çekme yükünün karbon kancaya göre daha düşük değerler aldığı görülmektedir. Ayrıca yorulma testlerine tabi tutulduktan sonra alınan numunelerin benzer nihai yük kapasitelerine sahip olduğu gözlenmiştir. 2 ton kapasiteye sahip karbon kanca incelendiğinde yorulma testlerinden sonra elde edilen çekme yükleri sırasıyla 14.33 ve 13.65 ton elde edilmiştir. Sadece statik teste tabi tutulan 2 tonluk karbon kancanın en büyük çekme yükü 13.95 ton olarak elde edilmiştir. Bu nedenle, bir kanca yük kapasitesinin düşük çalışma yükü koşullarında yorulma testine tabi tutulduktan sonra önemli ölçüde değişmediği sonucuna varılabilir.

Tablo 1, çalışma ve test yükleri ile farklı tipteki kancaları göstermektedir. Ayrıca beklenmedik sap arızaları nedeniyle 2 ton alaşım ve 3 ton alaşım kancalar için ek yorulma testleri yapıldı.

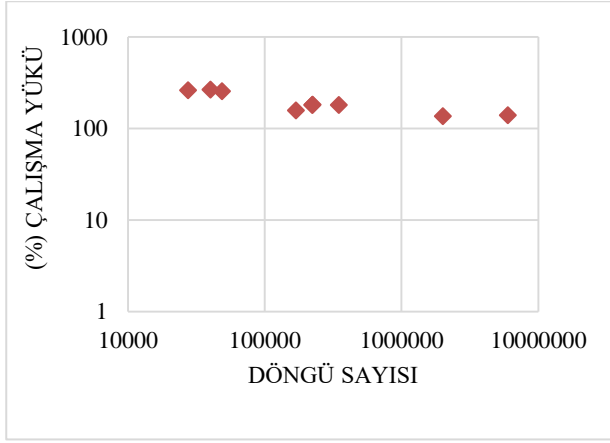
Deneysel sırasında uygulanan farklı yüklerde 2TKK için 9, 2TAK için 10, 3TKK için 6, 3TAK için 10, 15TAK için 9, 25TKK için 3 adet yorulma testi uygulanmıştır. Testler için kancalar, yükü en küçük ve en büyük değer arasında değiştirebilen bir test aparatına monte edildi. Kancalar tipik olarak göçmeye ulaşana kadar çevrim uygulanmıştır.

3.2. Yorulma Testi Sonuçları

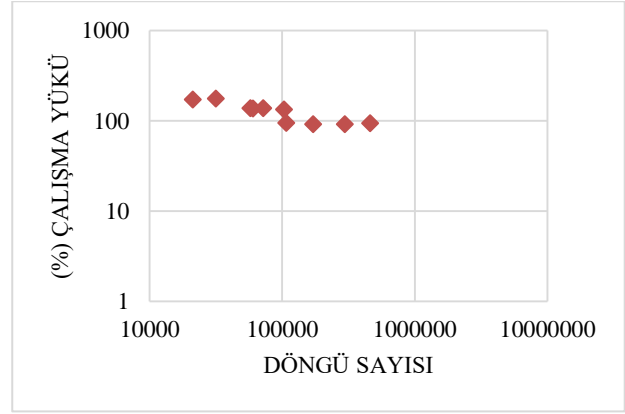
Bu bölüm içerisinde bulunan aşağıdaki alt bölümlerde, yorulma testinin sonuçları özetlenmektedir. Sonuçlar çelik türüne ve çalışma yüküne göre altı gruba ayrılmıştır. Tablo 3 ila Tablo 8 arasındaki tablolar, göçme yükünü, göçme döngü sayısını ve göçme modunu gösterir. Her tablonun ardından, tipik göçme modlarının, çalışma yüküne karşı döngü sayısının bir grafiği Şekil 6’dan Şekil 11’e kadar verilmiştir. Tablo 3, 2 tonluk karbon kancaya ait yorulma test sonuçlarını Şekil 6 ise 2 tonluk karbon kancaya ait yorulma test verilerini vermektedir. Tablo 3’te verilen değerlere bakıldığında 4 ve 8 numaraları testlerin yanında işaretlemeler vardır. Bu testlerde görüldüğü üzere döngü 2 ve 6 milyonlara kadar devam etmesine rağmen kancalarda göçme meydana gelmemiştir. Bu nedenle bu test setleri S-N eğrilerinin belirlerken uygun bir seçim yapabilmek için hesaplamalardan hariç tutulmuştur.

Tablo 2. Statik Test Sonuçları

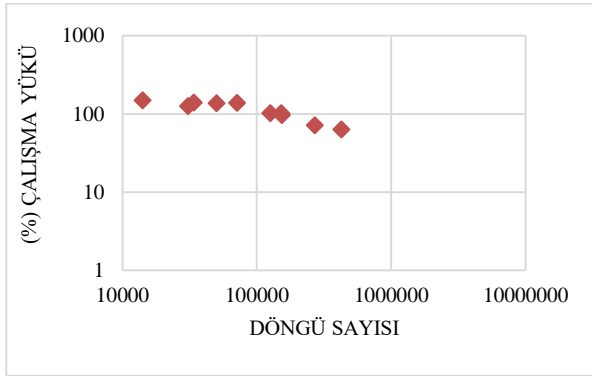
Kanca Tipleri	Çekme Yükleri
2TKK	13.95 t
2TKK (Testten Sonra #4)	14.33 t
2TKK (Testten Sonra #8)	13.65 t
2TAK	10.41 t
3TKK	19.5 t
3TAK	*****
15TAK	62.14 t
25TKK	127 t



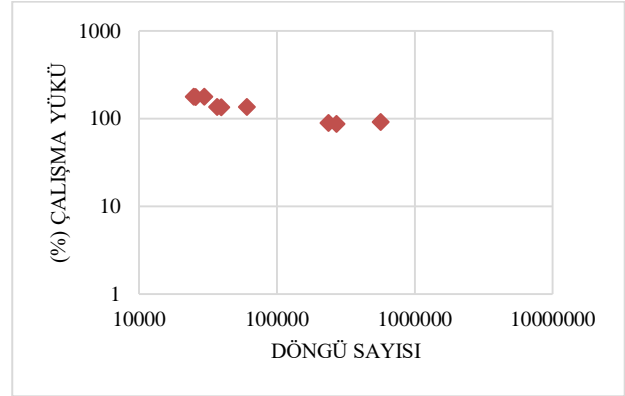
Şekil 6. 2 ton karbon kancaya ait yorulma test sonuçları



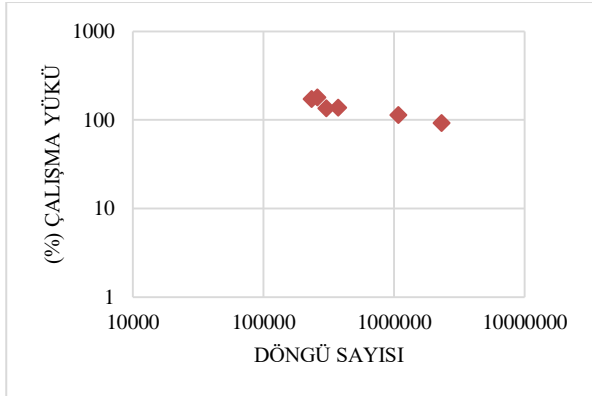
Şekil 9. 3 ton alaşım kancaya ait yorulma test sonuçları



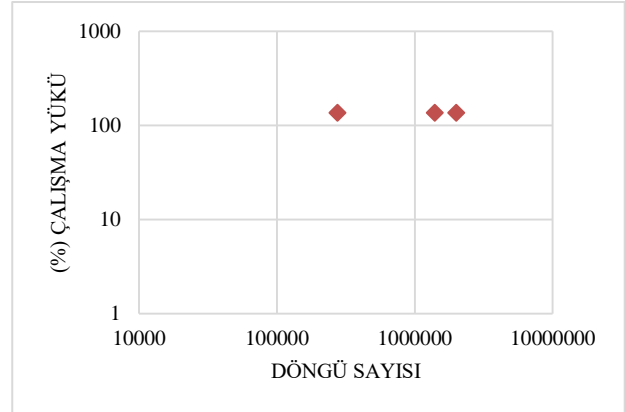
Şekil 7. 2 ton alaşım kancaya ait yorulma test sonuçları



Şekil 10. 15 ton alaşım kancaya ait yorulma test sonuçları



Şekil 8. 3 ton karbon kancaya ait yorulma test sonuçları



Şekil 11. 25 ton karbon kancaya ait yorulma test sonuçları

Tablo 3. 2 tonluk karbon kancaya ait yorulma test sonuçları

Test Numarası	Çalışma Yüğü (%)	Döngü Sayısı	Yorulma Test Yüğü (lbs)		Göçme Modları
			min	max	
1	181	347800	280	8,260	Kancada göçme
2	182	223800	240	8,250	Kancada göçme
3	181	222100	240	8,230	Kancada göçme
4*	136	2000000	300	6,300	Göçme Yok-Test Durduruldu
5	266	40200	260	12,000	Kancada göçme
6	261	27500	280	11,780	Kancada göçme
7	256	48600	322	11,617	Kancada göçme
8*	140	6000000	392	6,564	Göçme Yok-Test Durduruldu
9	158	169300	335	7,311	Kancada göçme

Tablo 4. 2 tonluk alaşım kancaya ait yorulma test sonuçları

Test Numarası	Çalışma Yüğü (%)	Döngü Sayısı	Yorulma Test Yüğüleri (lbs)		Göçme Modları
			min	max	
1	138	71400	362	6466	Şaftta göçme
2	136	50200	305	6298	Şaftta göçme
3	139	34000	290	6425	Şaftta göçme
4	125	30700	449	5964	Kanca Gövdesinde Göçme
5	148	14100	432	6976	Kanca Gövdesinde Göçme
6	102	126200	393	4890	Kanca Gövdesinde Göçme
7	102	151800	401	4906	Kanca Gövdesinde Göçme
8	96	153400	205	4427	Kanca Gövdesinde Göçme
9	63	426300	372	3154	Kanca Gövdesinde Göçme
10	71	269600	318	3440	Kanca Gövdesinde Göçme

Tablo 5. 3 tonluk karbon kancaya ait yorulma test sonuçları

Test Numarası	Çalışma Yüğü (%)	Döngü Sayısı	Yorulma Test Yüğüleri (lbs)		Göçme Modları
			min	max	
1	92	2308700	559	6617	Kanca Gövdesinde Göçme
2	135	303400	659	9558	Kanca Gövdesinde Göçme
3	137	374100	584	9628	Kanca Gövdesinde Göçme
4	113	1078100	607	8060	Kanca Gövdesinde Göçme
5	172	233700	527	11917	Kanca Gövdesinde Göçme
6	179	259200	367	12174	Kanca Gövdesinde Göçme

Tablo 6. 3 tonluk alaşım kancaya ait yorulma test sonuçları

Test Numarası	Çalışma Yüğü (%)	Döngü Sayısı	Yorulma Test Yüğüleri (lbs)		Göçme Modları
			min	max	
1	172	21200	428	11778	Şaftta göçme
2	92	298400	599	6671	Şaftta göçme
3	137	60400	563	9611	Şaftta göçme
4	138	57800	358	9507	Kanca Gövdesinde Göçme
5	138	72200	234	9332	Kanca Gövdesinde Göçme
6	92	171800	556	6641	Şaftta göçme
7	94	461200	501	6696	Kanca Gövdesinde Göçme
8	95	107600	264	6562	Şaftta göçme
9	134	103450	634	9467	Kanca Gövdesinde Göçme
10	176	31700	526	12156	Kanca Gövdesinde Göçme

Tablo 7. 15 tonluk alaşım kancaya ait yorulma test sonuçları

Test Numarası	Çalışma Yüğü(%)	Döngü Sayısı	Yorulma (lbs)		Test Yükları	Göçme Modları
			min	max		
1	136	37000	561	45555		Kancada göçme
2	135	60900	837	45421		Kancada göçme
3	91	566900	813	30855		Kancada göçme
4	89	237600	672	29998		Kancada göçme
5	178	29900	895	59683		Kancada göçme
6	176	25900	910	58947		Kancada göçme
7	177	25000	869	59544		Kancada göçme
8	87	271600	809	29703		Kancada göçme
9	134	39600	844	45239		Kancada göçme

Tablo 8. 25 tonluk karbon kancaya ait yorulma test sonuçları

Test Numarası	Çalışma Yüğü(%)	Döngü Sayısı	Yorulma (lbs)		Test Yükları	Göçme Modları
			min	max		
1	136	1398000	705	75644		Kancada göçme
2	136	276400	676	75712		Kancada göçme
3	136	2000000	751	75682		GöçmeYok-Test Durduruldu

3.3. Yorulma Amalizi

Yorulma ömrü, yorulma testlerinden elde edilen S-N eğrilerinin kullanımına dayanmaktadır. Kullanılan S-N eğrileri malzemelerin kullanıma devam edebilme olasılıklarıyla ilişkilidir. Temel olarak tasarım S-N eğrileri şu şekilde verilebilir(Denklem 2,3):

$$\log_{10}N = \log_{10}\bar{K} - mx\log_N\Delta L \quad (2)$$

$$\log_{10}N = \log_{10}K - zx\text{StndrtSap} \quad (3)$$

Burada; ΔL , çalışma yükünün yüzdesi olarak yorulma yük oranını, $\log\bar{K}$, $\log N$ eksenini ile tasarım S-N eğrisinin kesişimini, m , S-N eğrisinin ters eğimini, N , öngörülen döngü sayısını, K , S-N eğrisinin ortalaması ile ilişkili sabit, z ise ortalama dağılımından elde edilen standart sapma sayısını ifade etmektedir.

Aşağıdaki tablolarda Tablo 9'dan Tablo 13'e kadar 2T Karbon, 2T Alaşım, 3T Karbon, 3T Alaşım ve 15T Alaşım kancaları için S-N Eğrisi parametreleri verilmiştir. Yetersiz veri nedeniyle, 25 Tonluk karbon kanca için S-N eğrileri oluşturulmamıştır. Parametreler, Şekil 12 ila 18 'de gösterilen S-N eğrilerini oluşturmak için kullanılmıştır. S-N eğrilerini tanımlamak için iki eğim kullanılmıştır. Bahsi geçen şekiller ve tablolar aşağıda sırasıyla verilmiştir.

Aşağıda karbon ve alaşım kancalar için verilen S-N eğrileri karşılaştırıldığı zaman karbon kancalar için S-N eğrilerinin, alaşım kancalar için S-N eğrilerinden daha yüksek bir grafik çizdiği görülebilir. Bu, karbon kancaların alaşım kancalardan daha yorulmaya dayanıklı olduğunu göstermektedir.

Tablo 9. 2TKK S-N eğrisi parametreleri

S-N Eğrileri	N<10 ⁶		N>10 ⁶	
	log \bar{K}	m	log \bar{K}	m
Ortalama	12.04	3	16.07	5
Ortalama-StndrtSap	11.81	3	15.84	5
Ortalama-2*StndrtSap	11.58	3	15.61	5
Ortalama-3*StndrtSap	11.35	3	15.37	5

Tablo 10. 2TAK S-N eğrisi parametreleri

S-N Eğrileri	N<10 ⁶		N>10 ⁶	
	log \bar{K}	m	log \bar{K}	m
Ortalama	11.01	3	14.35	5
Ortalama-StndrtSap	10.82	3	14.16	5
Ortalama-2*StndrtSap	10.63	3	13.97	5
Ortalama-3*StndrtSap	10.44	3	13.78	5

Tablo 11. 3TKK S-N eğrisi parametreleri

S-N Eğrileri	N<10 ⁶		N>10 ⁶	
	log \bar{K}	m	log \bar{K}	m
Ortalama	12.18	3	15.64	5
Ortalama-StndrtSap	11.99	3	15.45	5
Ortalama-2*StndrtSap	11.80	3	15.26	5
Ortalama-3*StndrtSap	11.61	3	15.07	5

Tablo 12. 3TAK S-N eğrisi parametreleri

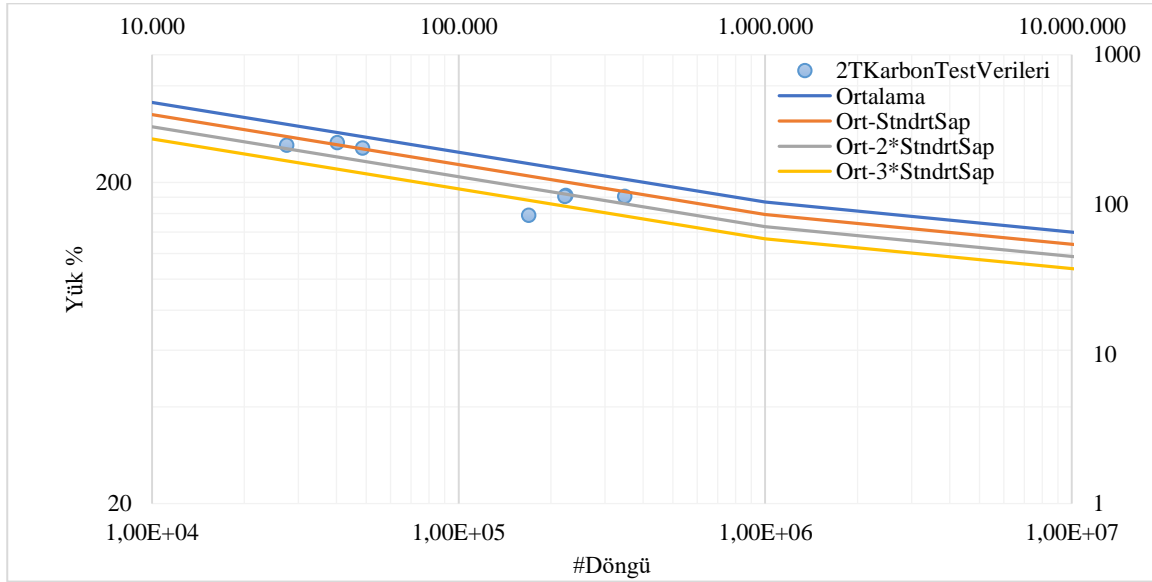
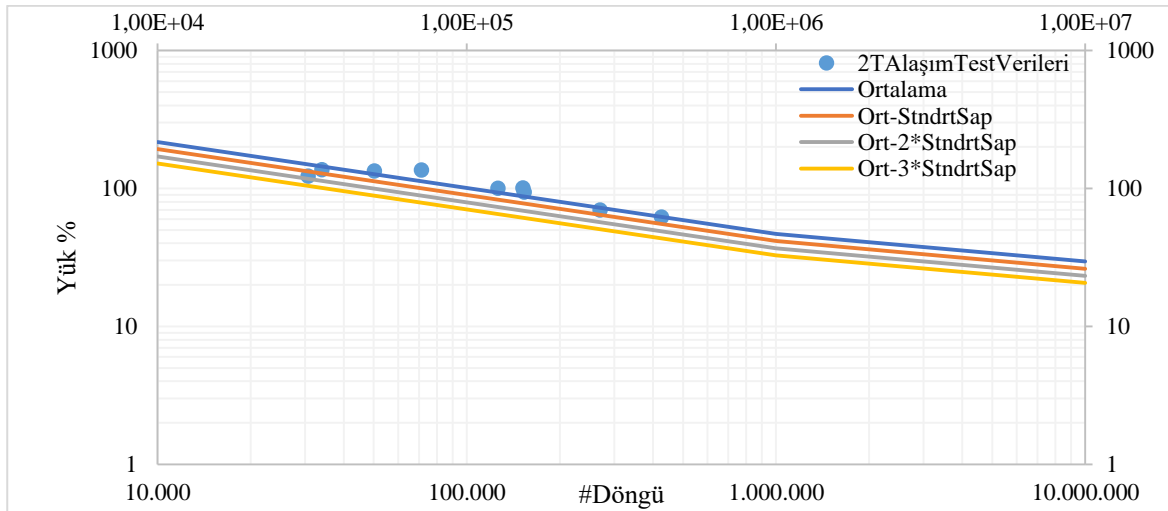
S-N Eğrileri	N<10 ⁶		N>10 ⁶	
	log \bar{K}	m	log \bar{K}	m
Ortalama	11.30	3	14.83	5
Ortalama-StndrtSap	11.10	3	14.63	5
Ortalama-2*StndrtSap	10.90	3	14.43	5
Ortalama-3*StndrtSap	10.70	3	14.23	5

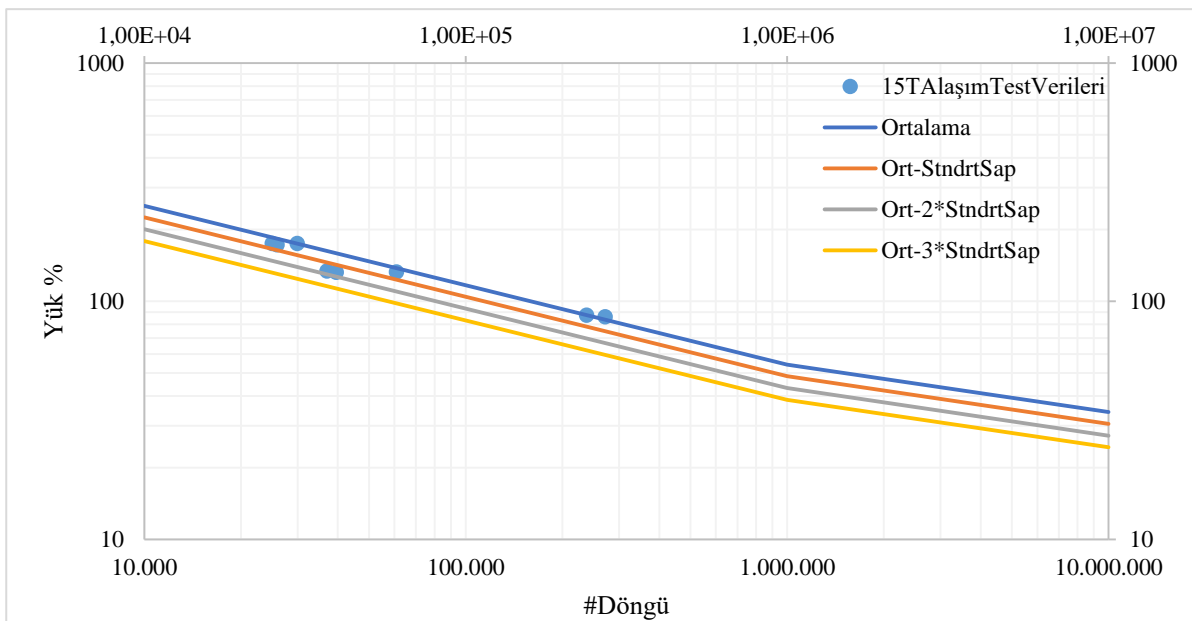
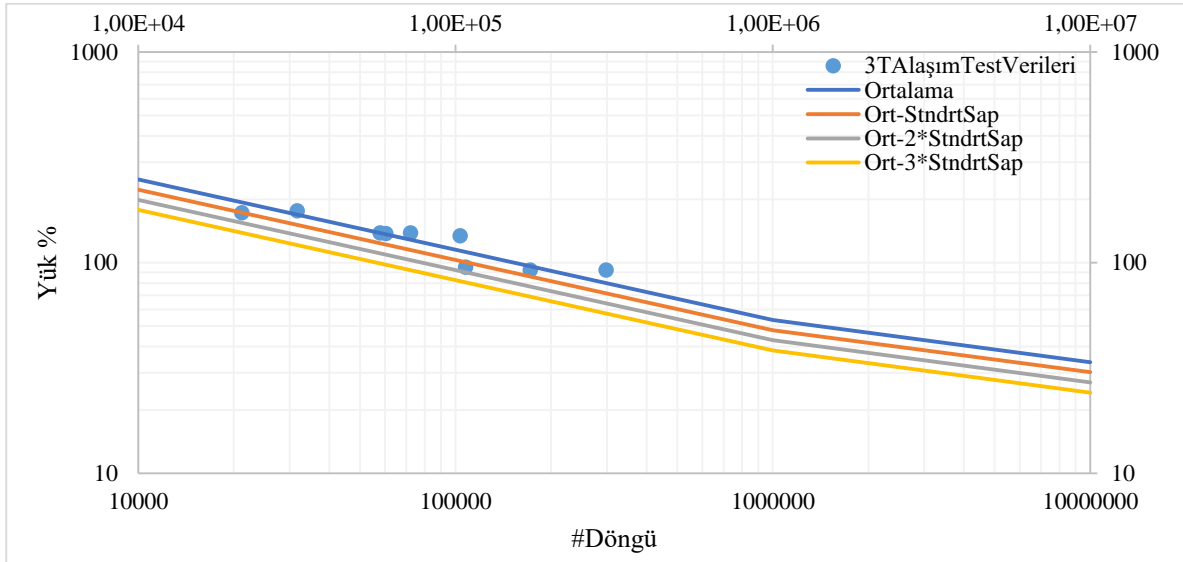
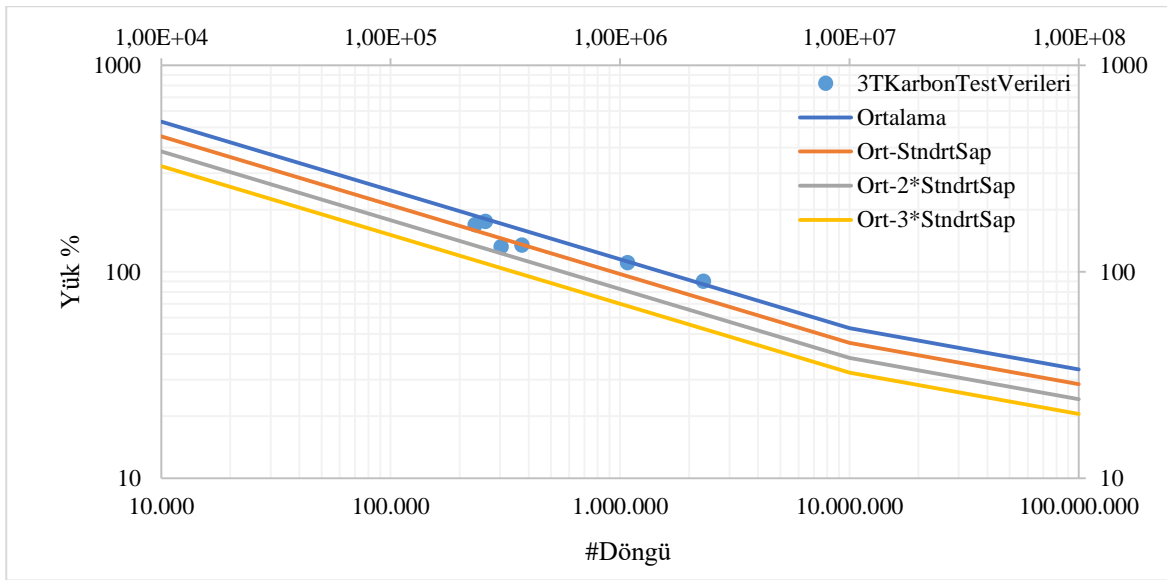
Tablo 13. 15TAK S-N eğrisi parametreleri

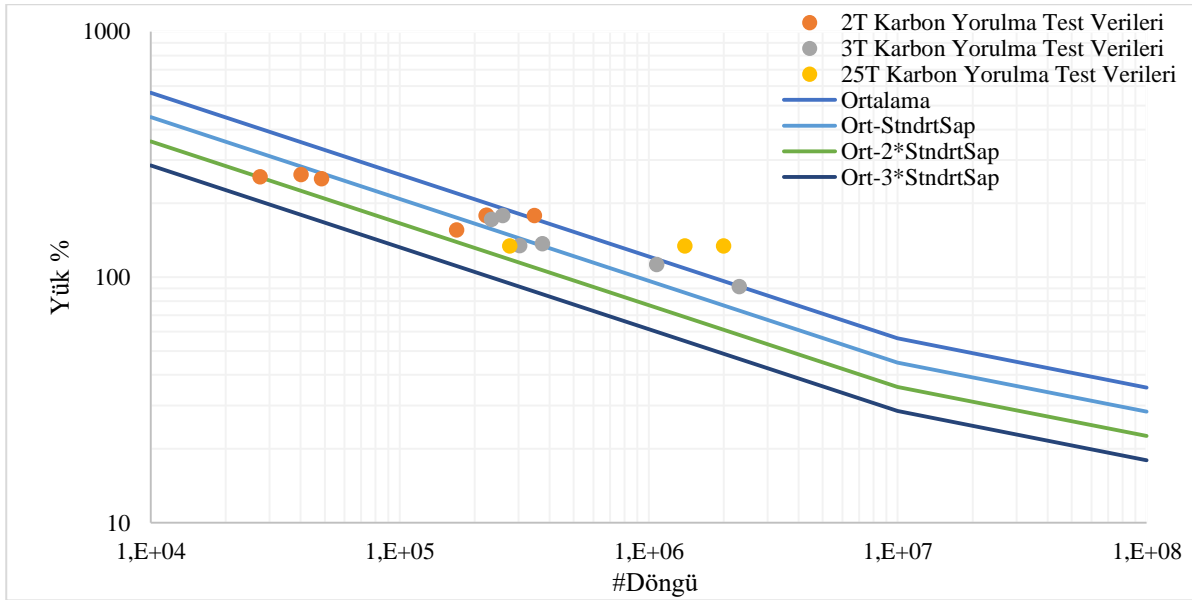
S-N Eğrileri	N<10 ⁶		N>10 ⁶	
	log \bar{K}	m	log \bar{K}	m
Ortalama	11.35	3	14.92	5
Ortalama-StndrtSap	10.77	3	14.77	5
Ortalama-2*StndrtSap	10.19	3	14.61	5
Ortalama-3*StndrtSap	9.61	3	14.46	5

Genel olarak 2 ve 3 tonluk kancaların verileri karşılaştırıldığı zaman, 2 tonluk karbon kancaların belirli bir yük için 2 tonluk alaşım kancadan daha fazla döngüye dayanabildiğini ve 3 tonluk karbon kancaların belirli bir yük için 3 tonluk alaşım kancalardan daha fazla döngüye dayanabildiğini göstermektedir. Aşağıdaki eğrilerde verilen verilerle karşılaştırmalar yapılmıştır. Şekil 17 ve Şekil 18, sırasıyla tüm karbon ve alaşım kancaları için verileri derlemektedir. Şekil 17, test edilen 2 ton, 3 ton ve 25 ton karbon şaft kancaları için birleştirilmiş test sonuçları verileri kullanılarak üretilen S-N eğrilerini göstermektedir. Veri noktaları temsil

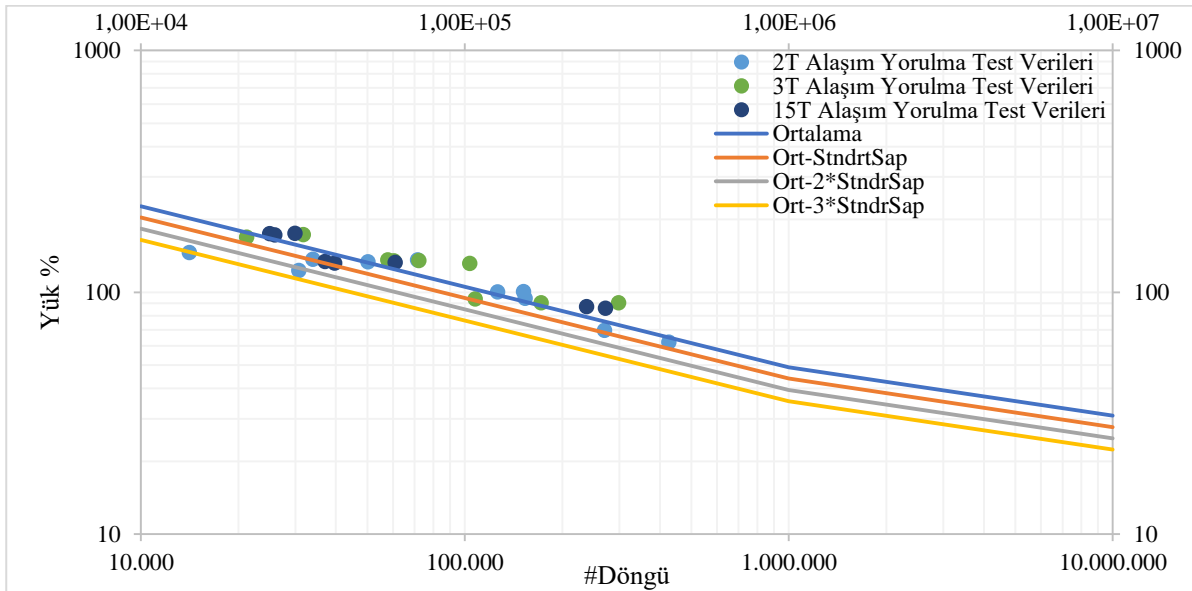
amacıyla ayrı ayrı çizilmiştir. Şekil 18, 2 ton alaşım, 3 ton alaşım ve 15 ton alaşım kanca içeren test edilen tüm alaşım şaft kancaları için birleştirilmiş test sonuçları verileri kullanılarak oluşturulan S-N eğrilerini göstermektedir. Veri noktaları temsil amacıyla ayrı ayrı çizilmiştir. Tüm karbon kancalar için derlenmiş eğrinin ve 3 ton karbon kanca için S-N Eğrisinin hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Daha büyük kancaların daha az yorulma ömrüne sahip olması beklenirse de, yukarıdaki rakamlar bu eğilimi göstermemektedir. Herhangi bir boyuttaki kanca için S-N eğrilerinin benzer olduğu görülmüştür. Alaşım kancaları için derlenmiş S-N eğrileri, herhangi bir alaşım kancası boyutu için kullanılabilir ve yorulma tasarımı S-N eğrileri için; ortalamanın standart sapmasının iki veya üç kat daha negatif olması önerilmektedir. Aşağıda verilen tablolar yapılan analizlerden elde edilen test verileri ve yapılan analizlerde 25 tonluk karbon kanca hariç bütün kanca tipleri için elde edilen S-N eğrileri Şekil 12'den Şekil 18'e kadar verilmiştir.

**Şekil 1.** 2 Ton Karbon Kanca S-N Eğrisi**Şekil 2.** 2 Ton Alaşım Kanca S-N Eğrisi





Şekil 6. Karbon Kancaların Karşılaştırılması



Şekil 7. Alaşım Kancaların Karşılaştırılması

4. SONUÇ

Bu çalışmada seçilen kanca tipleri olan 2 ton karbon, 2 ton alaşım, 3 ton karbon, 3 ton alaşım, 15 ton alaşım ve 25 ton karbon kancalar için 6 adet statik ve 47 adet yorulma testleri yapılmıştır. Statik testler ve yorulma testlerinde alaşım ve karbon malzemeden imal edilmiş kanca tipleri karşılaştırılmıştır. Yorulma testlerindeki veriler kullanılarak elde edilmiş S-N eğrileri ile kanca tiplerine göre yorulma ömürleri irdelenmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen önemli sonuçlar aşağıda verildiği gibidir:

- Statik test sonuçlarında elde edilen en büyük çekme yükü değerleri göz önüne alındığından karbon kancaların alaşım kancalara göre daha yüksek çekme kapasitelerine sahip olduğu görülmüştür.
- Yorulma testine tabii tutulmuş ve tutulmadan statik testleri yapılan kancalar incelendiğinde; bir kanca yük kapasitesinin, düşük çalışma yükü koşullarında yorulma

testine tabii tutulduktan sonra önemli ölçüde değişmediği görülmüştür.

- Çalışmada meydana gelen göçmelerin genel olarak 2 farklı bölgede meydana geldiği görülmektedir. Ana göçme tipi olarak kanca gövdesinde meydana gelen göçmeler kabul edilebilir. Diğer göçme tipi ise alaşım kancalarda daha fazla gözlemlenen şaft birleşiminde meydana gelen göçmelerdir.

- Çalışmada elde edilen S-N eğrilerine bakıldığı zaman kanca kapasitesine yani kancanın boyutuna göre yorulma eğrilerinde bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Bu, yorulma ömrü göz önüne alındığında kanca boyutunun küçük bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

- S-N eğrileri incelendiğinde karbon malzemeden imal edilmiş kancaların alaşım malzemeden imal edilmiş kancalara göre daha uzun yorulma ömrüne sahip olduğu görülmektedir.

- S-N eğrileri hem ortalama hem de ortalama-1, -2, -3 standart sapma eğrilerini de içermektedir. Yorulma durumu dikkate alınarak yapılan tasarımlar için ortalama-2 veya ortalama-3 standart sapma durumlarının

dikkate alınması test numuneleri ile arasında olan uyum nedeniyle bu çalışmada önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Sundriyal R. Stress Analysis of Crane Hook with Different Cross Sections Using ANSYS, *Int. J. Sci. Res.*2017; vol. 6, no. 8, pp. 1363–1368.
- [2] Kökçü İ. Kule Vinci Tasarımı ve Analizi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.2015.
- [3] Çoktu AK, Ceylan S. Kaldırma araçlarında iş sağlığı ve güvenliği.2012.
- [4] Nazlıoğlu A. İnşaat sektöründe kullanılan kule vinçler ile yapılan çalışmalarda karşılaşılan risklerin tespiti ve korunma yolları, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı.2014.
- [5] Urul H. Yapı İşyerlerinde Kullanılan Vinçlerle Yapılan Çalışmalarda Alınması Gereken İş Sağlığı ve Güvenliği Önlemleri.2013.
- [6] Nazlıoğlu A, Karakavak A, Aydos MR, Taş N. Kule vinçlerin güvenli kullanımına ilişkin uygulama rehberi.2018.
- [7] Gerdemeli İ. Yük Tutma Elemanları, in *Transport Tekniğinde İleri Konular*,2019; pp. 1–25.
- [8] Anonim. DIN-15400 Lifting hooks; materials, mechanical properties, lifting capacity and stresses. Germany.1990.
- [9] Anonim. Dın-17102 Weldable Normalized Fine Grain Structural Steels - Technical Delivery Conditions For Plate, Strip, Wide Flats, Sections And Bars. Germany. 1983.
- [10] Anonim. Dın-17103 Weldable Fine Grain Structural Steel Forgings - Technical Delivery Conditions. Germany. 1989.
- [11] Sonsino CM. Course of SN-curves especially in the high-cycle fatigue regime with regard to component design and safety, *Int. J. Fatigue*,2007; vol. 29, pp. 2246–2258.
- [12] Qin YX, Xie WT, Ren HP, Li X. Crane hook stress analysis upon boundary interpolated reproducing kernel particle method, *Eng. Anal. Bound. Elem.*,2016; vol. 63, pp. 74–81.
- [13] Torres Y, Gallardo JM, Domínguez J, Jiménez FJE. Brittle fracture of a crane hook, *Eng. Fail. Anal.*, 2010; vol. 17, no. 1, pp. 38–47.
- [14] Vinodh S, Ravikumar R. Application of probabilistic finite element analysis for crane hook design, *J. Eng. Des. Technol.*, 2012; vol. 10, no. 2, pp. 255–275.
- [15] Bergaley A, Purohit A. Structural Analysis of Crane Hook Using Finite Element Method, *Int. J. Sci. Mod. Eng.*, 2013; vol. 1, no. 10, pp. 3–7.
- [16] Desai N, Zeytinoglu N. Design and Optimization of the Geometric Properties of a Crane Hook, *World J. Eng. Technol.*, 2016; vol. 4, no. August, pp. 391–397.
- [17] Sahu S, Dewangan R, Patnaik M, Yadav N. Study of Crane Hook Having Trapezoidal Section by Finite Element Method & Design of Experiments, *Int. J. Mod. Eng. Res.*, 2012; vol. 2, no. 4, pp. 2779–2781.
- [18] Liu YB. Prediction of the S–N curves of high-strength steels in the very high cycle fatigue regime, *Int. J. Fatigue*, 2010; vol. 32, no. 8, pp. 1351–1357.
- [19] Richard HA, Sander M. Fundamentals of fracture mechanics, in *Solid Mechanics and its Applications*. 2016.
- [20] Paris WAP, Gomez M, Paris PC, Gomez MP, Anderson WEP. A Rational Analytic Theory of Fatigue, *Trend Eng*. 1961.
- [21] Korkut S. What is a SN-Curve?, Siemens Digital Industries Software, . <https://community.sw.siemens.com/s/article/what-is-a-sn-curve> (accessed Apr. 30, 2020).2019.