

Kılıç Tasarımı ve Onun Sonlu Elemanlar Analizi

Umut Aslan

E-posta: umutalan02@hotmail.com

Anahtar Kelimeler: Sonlu Elemanlar Analizi, Kılıç Tasarımı, Simülasyon, Tasarım

Özet

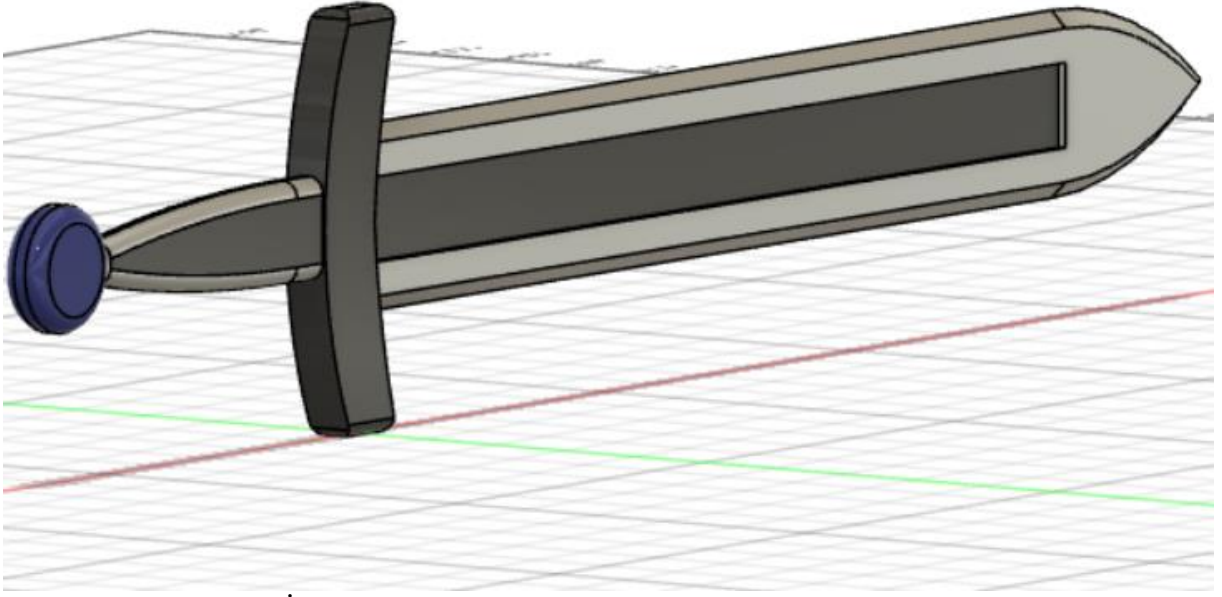
Bir adet kılıç tasarımı yapıldı. Bundaki amaç çok fazla Computer Aided Design içerikli sanal ortamlarda kılıç çizimleri yapılmasına rağmen pek fazla sayıda mekanik analizler yapılmamış olmasıydı. Bu çalışmada da kendi tarafımdan FUSİON 360 isimli CAD ortamında tasarlanan bir kılıcın “Statik Stress” simülasyon metoduyla analizi gerçekleştirilecektir. Bu sayede de tasarımın ne derece verimli olduğu değerlendirilecektir.

1. Giriş

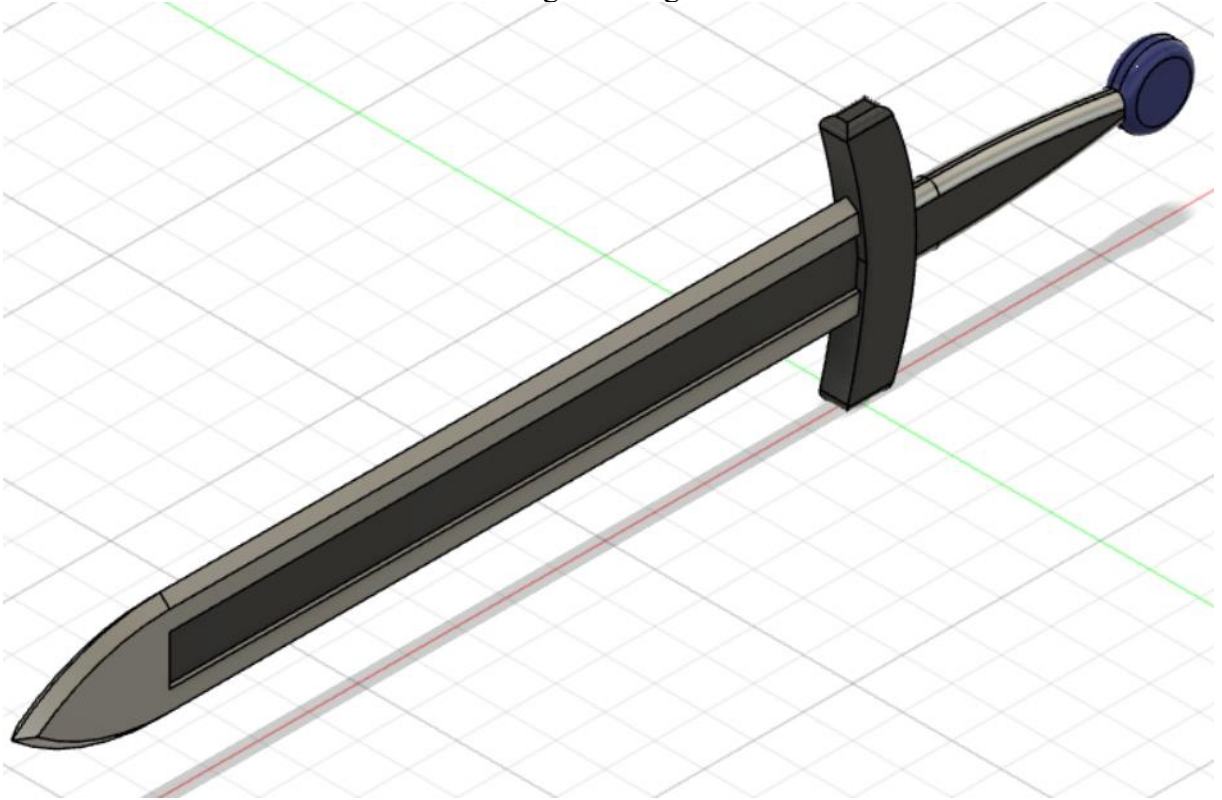
Bu çalışmadaki amaç bir kılıç tasarımı yapılmasıydı. Sanal ortamlarda yapılan araştırmalar sonucu birtakım çizim uygulamaları ile bazı tasarımlar yapılmış olup buna rağmen hiçbirisinin analizi gerçekleştirilmemiştir. Bu çalışmada uygun olduğu düşünülen bir kılıç tasarımı hazırlanıp FUSİON 360 ortamında “Static Stress Simulation” adı verilen simülasyon çalışmasının bu tasarıma uygulanması anlatılacaktır. 2. bölümde kılıcın tasarımından bahsedilecektir. Bu noktada özellikle dikkat edilen hususlar anlatılacaktır. 3. bölümde Sonlu Elemanlar Analizi ve “Static Stress Simulation” kavramlarından bahsedip uygulandığı gösterilecektir. Bu kısım çalışmanın nihai amacıdır. 5. kısım ise sonuçların yorumlanmasıdır.

2. Tasarım

Bu bölümde bakılacak olan konu kılıcın tasarımıdır. Resim 1. yardımıyla görülebileceği üzere kılıç tasarımı FUSİON 360 ortamında tamamlanmıştır. Kılıcı daha iyi tanıtabilmek için de parçalar halinde tasarlanmıştır. Parçalara bakmadan önce tasarım hakkında biraz genel bilgi vermek istiyorum. Yapılan araştırmalar [1] sonucu literatürdeki kılıçların genel olarak yapıldığı malzemelerin “Steel-Carbon” ya da “Stainless Steel” adı verilen malzemeler oldukları görüldü. Tasarım buna göre hazırlanıp olabildiği kadar optimizasyon gerçekleştirildi. Bu olaylara rağmen yapılacak olan analiz sonucunda istenilen ağırlık veya dayanıklılık değerlerine ulaşılamazsa malzemeler değiştirilip tekrar analiz edilecektir. 4 adet parçadan oluşan kılıcımızı teker teker inceleyelim.

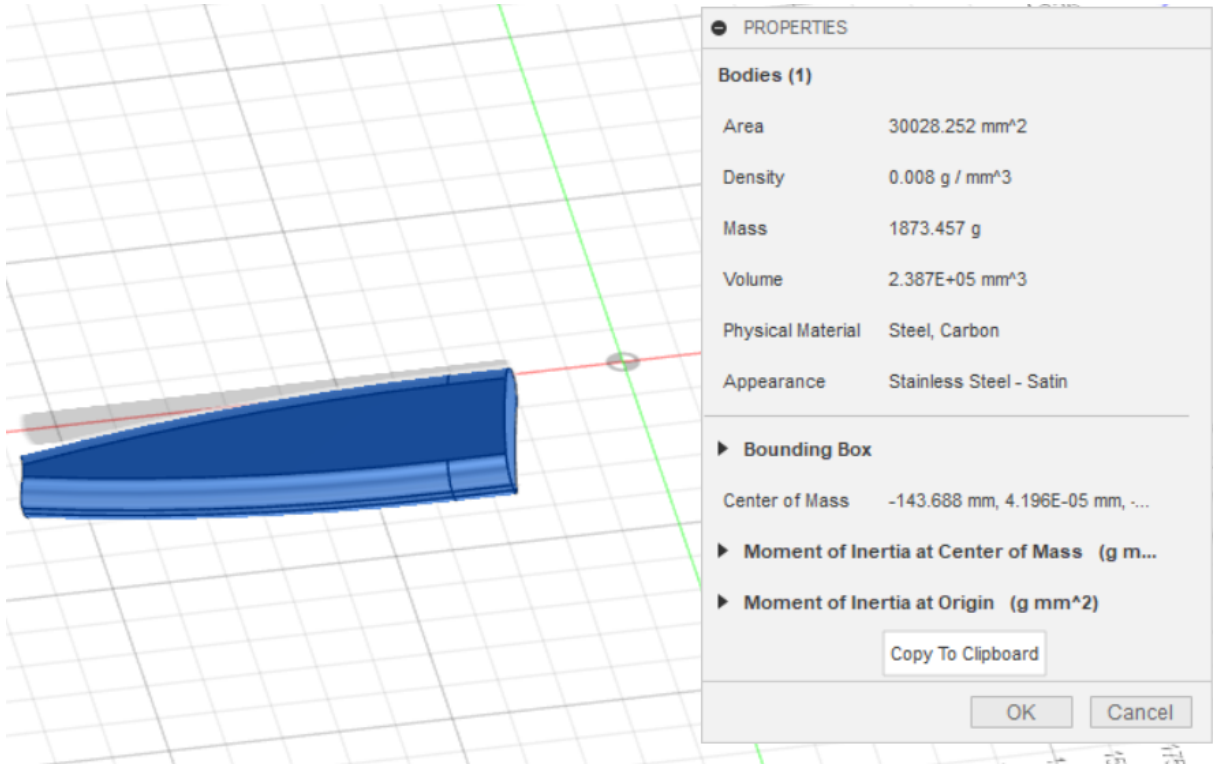


Görsel 1. Kılıcın FUSİON 360 ortamında genel bir görünümü



Görsel 2. Kılıcın başka bir açıdan görünümü. Görsel boyanmıştır.

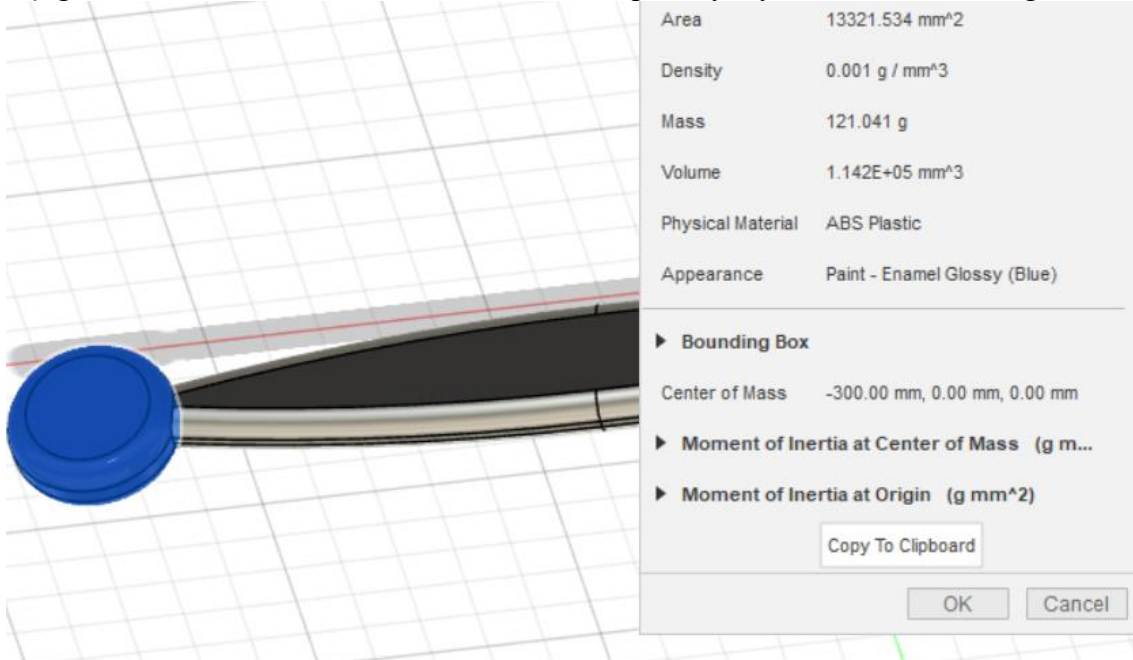
İlk önce kabza kısmına bakacağız. Bunun için Görsel 3.'ün yardımını alabiliriz.



Görsel 3. Burada kabza kısmının fiziksel özelliklerini görüyoruz.

Kabza kısmını yaparken dikkat edilen hususlar şeklin olabildiği kadar minimal olmasıydı. Kılıcın metal kısmıyla aynı malzemeden yapıldığı öğrenilen [2] kabza kısmı için “Steel Carbon” isimli malzeme seçilmiştir. İki malzeme arasından “Steel Carbon” malzemesinin seçiminin sebebi olarak daha düşük ağırlık değerlerine ulaşılabileceği düşünülüyordu. Bir diğer dikkat edilen husus da el ile tutulacak olduğundan ötürü sivri kısımların yumuşatılmasıydı. Kenarlar “fillet” komutu ile yumuşatıldı. Bu aynı zamanda malzemeyi de sadeleştirdi. Kabza hakkında anlatılacaklar bu kadardı.

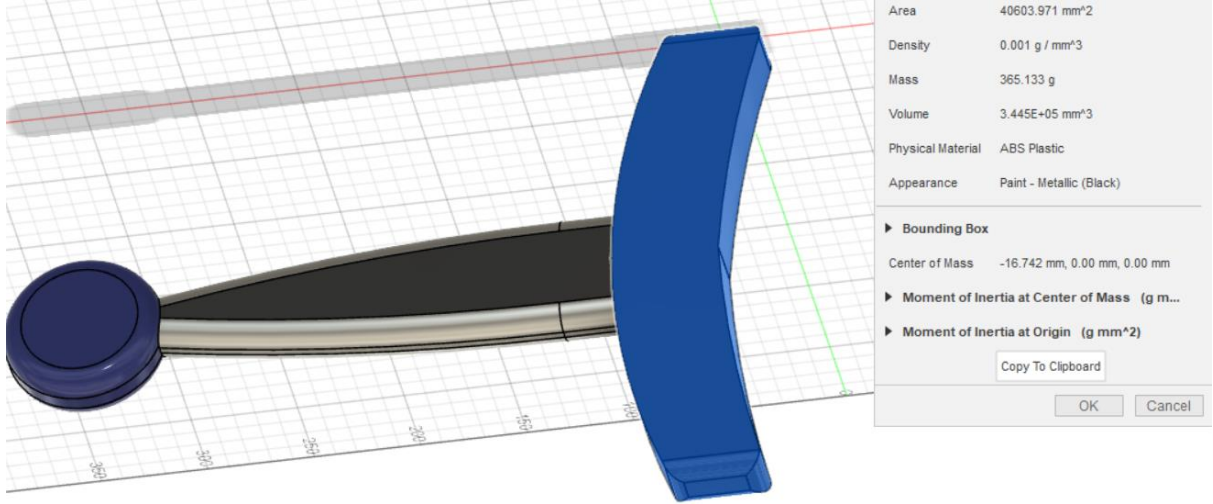
Aşağıdaki Görsel 4. ile kılıcın arkasında kalan topuz niyetiyle tasarlanan kısım görülebilir.



Görsel 4. Topuz ile kabza

Topuz kısmının tasarımıımızda tanımlı görevi çok hayati olmamakla birlikte, analizlerin yapılması için var olması gereken bir parça olarak görüldü. Kabza kısmının bütünlüğünü koruyabileceğine ve sağlamlığa destek vereceğine inanıldı. Malzeme olarak da “ABS Plastic” seçildi.

Topuzun incelemesi tamamlandıktan sonra da kılıcın orta kısmını -Fulcrum olarak da adlandırılabilir- inceleyebiliriz.

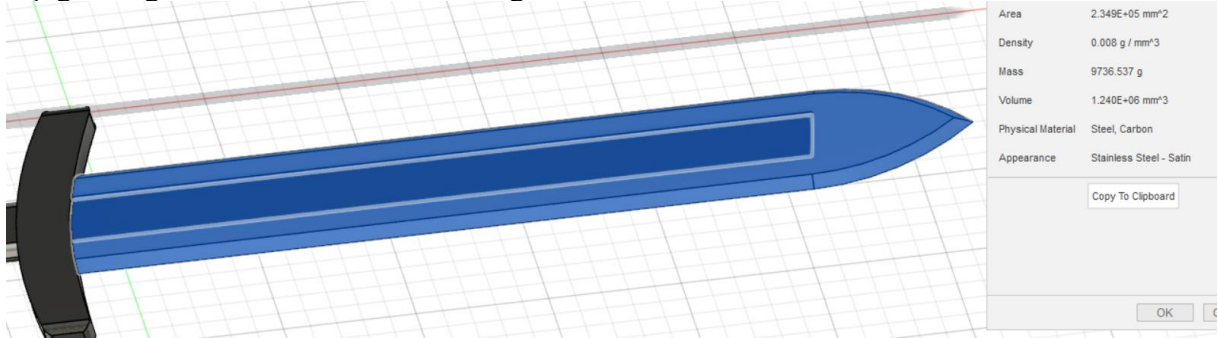


Görsel 5. Kılıcın destek kısmı. Kabza ile metalin birleştiği kısım.

Bu parçanın tasarımı tamamen kişisel tercihlerden ötürü bu şekilde yapılmıştır. Herhangi bir bilimsel altyapısı olmamakla beraber minimal tutulmaya özen gösterilen bu parçanın tasarıma zariflik kattığı düşünülmektedir. Bu parça da yine “ABS Plastic” isimle parça ile yapılmıştır.

Bu yan parçalar tamamlandıktan sonra en zorlayıcı ve en önemli parçayı inceleyebiliriz.

Aşağıdaki görselde kılıcın metal kısmı görülmektedir.



Görsel 6. Kılıcın metal kısmı.

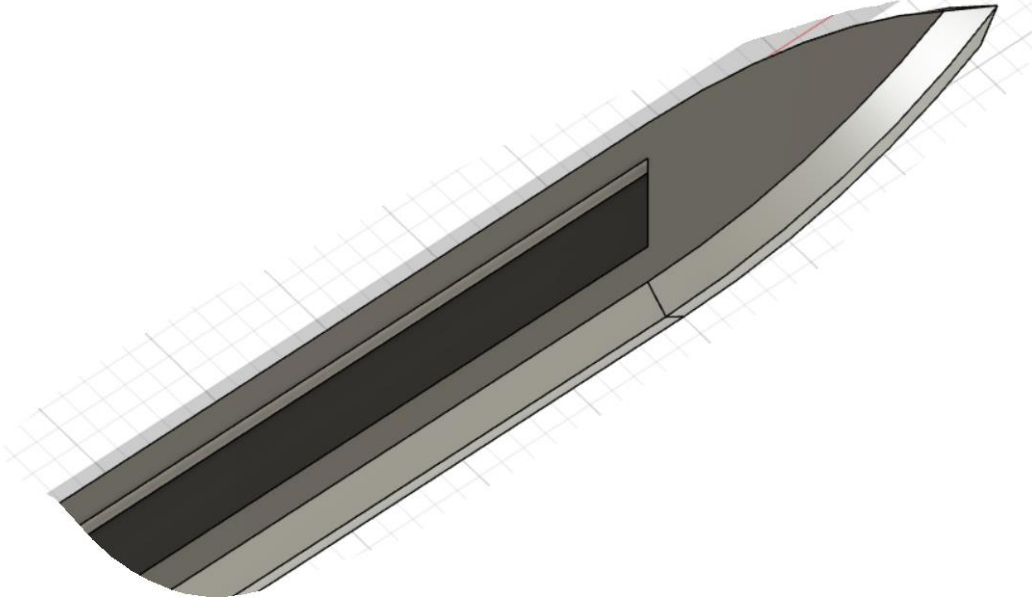
Area	2.349E+05 mm ²
Density	0.008 g / mm ³
Mass	9736.537 g
Volume	1.240E+06 mm ³
Physical Material	Steel, Carbon
Appearance	Stainless Steel - Satin
<input type="button" value="Copy To Clipboard"/>	

Görsel 7. Metal kısım özellikleri.

Yandaki görselde görülebileceği üzere metal kısımlar için de “Steel Carbon” adı verilen materyal seçilmiştir.

Bu noktada tasarımın açık ara en uğraştırıcı kısmının özelliklerinden bahsedilecektir.

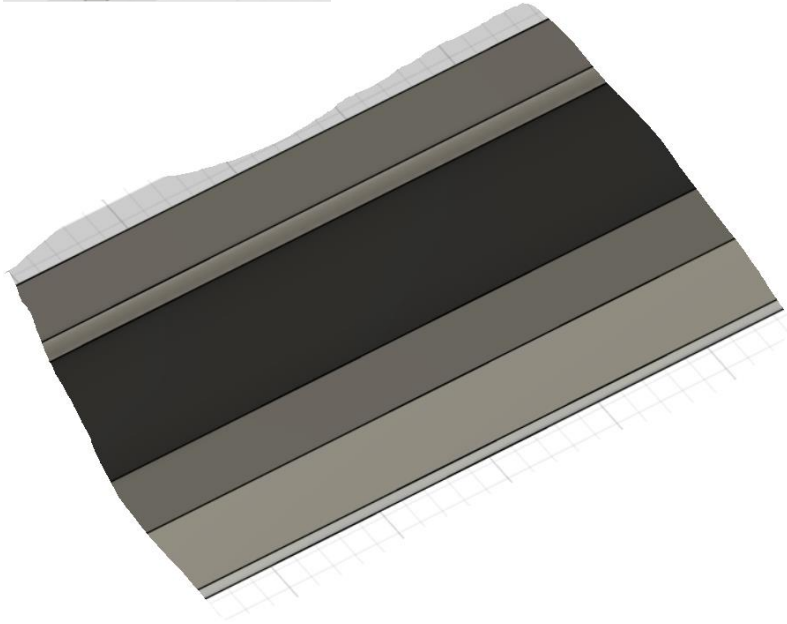
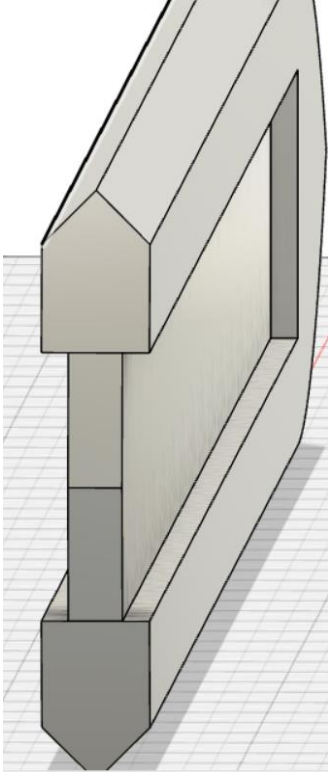
İlk yapılan çalışmalarda 90kg bandında olan kütle ise 9.736 kg bandına düşürülebilmektedir. Bu sayede ideale daha yakın bir tasarım ortaya çıkmıştır. Metal kısım yakından incelendiğinde kenarlarının olabildiği kadar keskinleştirilebildiği görülmektedir. Bu tarz tasarım uygulamaları parçaların 3D yazıcılar aracılığı ile bastırılarak üretimine destek sağladığı için tam olarak parçanın keskin kenarlara sahip olması mümkün olmamaktadır. Buna rağmen “Chamfer” komutu ile parça keskinleştirilmeye çalışılmıştır. Daha yakından bakış için Görsel 8. incelenebilir.



Görsel 8. Burada kılıcın metal kısmına yakın bir bakış atabilmekteyiz.

Bu keskinleştirme işlemi sayesinde parçayı analizlere sokmaya yetecek kadar yakın tasarlayabildiğimiz umulmakta.

Bir diğer detayımız da kılıcımızın orta kısmında içeriye doğru bir derinlik işlenmiş olması. Aynı derinlik kılıcın arka tarafında da mevcuttur. Bunu görebilmek için Görsel 9. daha yakın bir bakış sunar.



Görsel 9. a) Ortadaki oyuk kısım. b) Farklı bakış açısı

Kılıcın genel tasarımı bu şekildedir. Toplam ağırlığı ve diğer faktörleri ise:

Bodies (5)	
Area	3.189E+05 mm^2
Density	0.001 g / mm^3
Density	0.008 g / mm^3
Mass	12096.169 g
Volume	1.938E+06 mm^3
Physical Material	ABS Plastic
Physical Material	Steel, Carbon
Appearance	Paint - Enamel Glossy (Blue)
Appearance	Paint - Metallic (Black)
Appearance	Stainless Steel - Satin

Görsel 10.

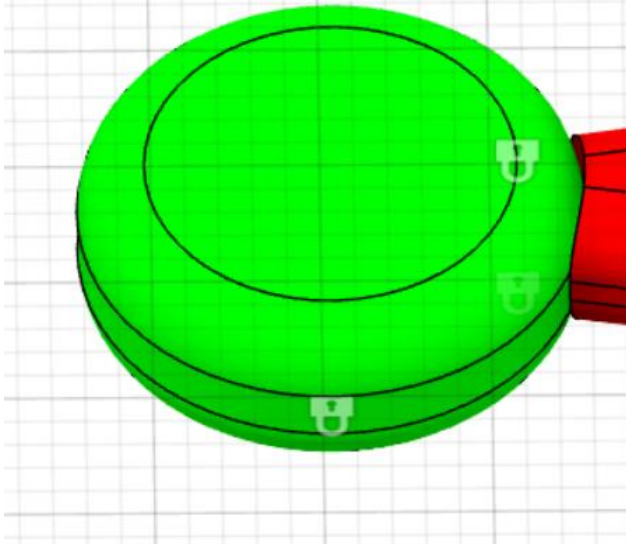
Bu ağırlık oranı biraz yüksek olmakla birlikte yapılabilen en iyi optimizasyon bunu sağladı. Yapılan çelik önerileri sayesinde bu materyaller seçilmiş olmakta olup çalışma sonrasında daha hafif malzemeler ile de denenecektir. Oraya gelene kadar uygulanacak testlerden bahsedelim.

3. Sonlu Elemanlar Analizi

Sonlu Elemanlar Analizi ne demektir? Genellikle mühendislik hesaplamalarında kullanılan, herhangi bir fiziksel niceliğe sahip bir maddenin çeşitli analizlerini gerçekleştirebilmek için kullanılan sayısal bir tekniktir [2]. Bu teknik sayesinde tasarımlara yapılacak testler parçalar üretilmeden gerçekleştirilebiliyor ve yüksek maliyetlerden kurtulmamızı sağlıyor.

Bu yöntemin kullanımı olarak da FUSION 360 isimli uygulamanın bizlere sunduğu iki adet simülasyon çeşidi kılıcımıza uygulanacaktır. İlk çeşit olarak “Static Stress Analizi” uygulanacaktır. Nedir bu analiz peki? Belirli koşullar altında sisteme yükleme senaryoları verilip sistemin vereceği cevap, yaşanacak mekanik olaylar simüle edilebiliyor bu sayede. Kılıcımıza birtakım yükleme senaryoları verildi. Bunları inceleyelim:

Öncelikle Static Stress Simülasyonu yapabilmek için bazı koşullar belirlenmelidir. Malzemeler tasarım kısmında belirtilmişti. Tekrardan belirtilmesine gerek yoktur. Bazı noktalardan tasarımın sabitlenmesi gerekmektedir. Oluşacak senaryoda bu kısımların bozulması önlenmiş olur. Kılıç üzerinde düşünürsek sabitlenen parçalar şunlardır:

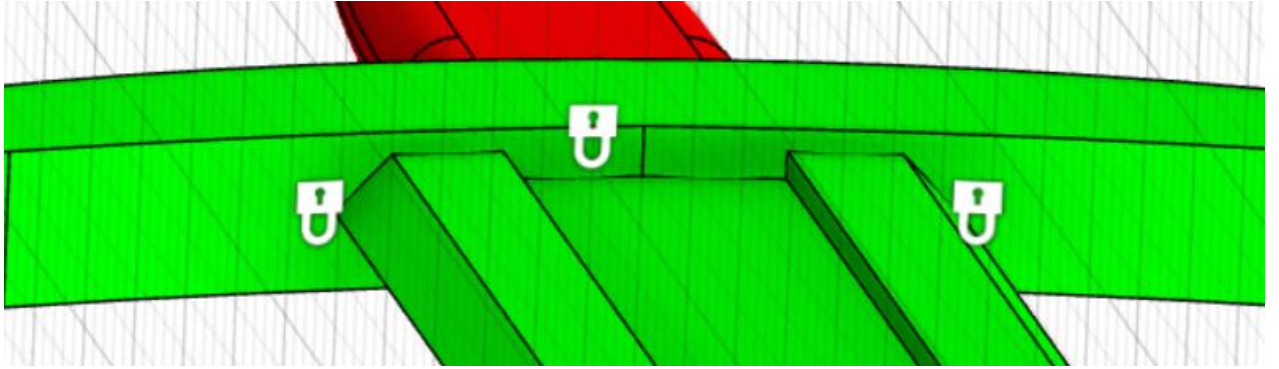


a)

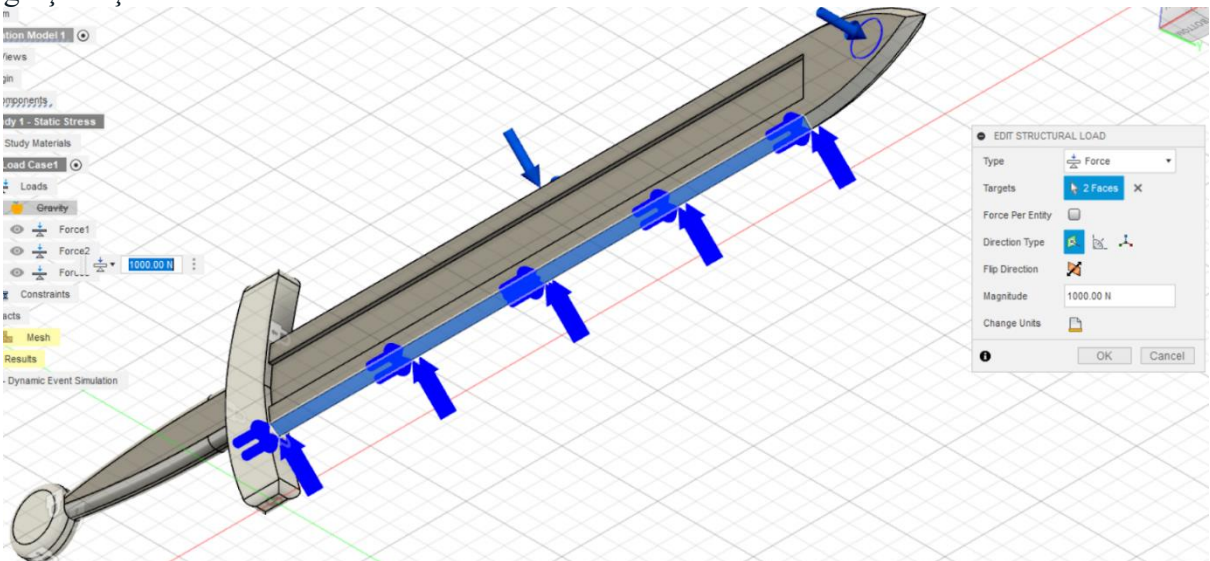
Görsel 11. a) Topuzun yandan bakınca ortada kalan kısmı.

b) Destek kısmının kılıcın ucundan bakınca önde kalan kısmı

b)

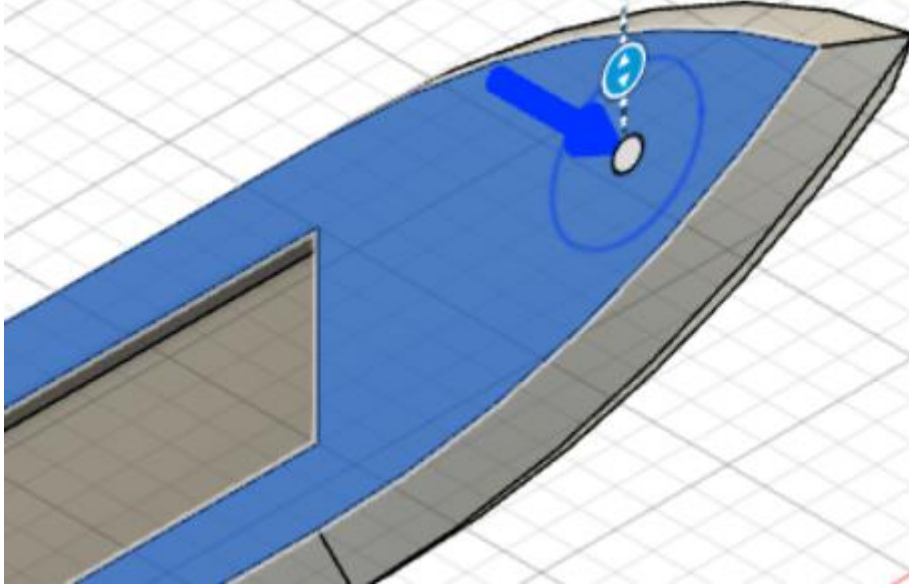


Bu kısımlar sabitlemek için seçilmişlerdir. Metal kısmında oluşacak olan olayların burayı etkilemesinin önüne geçilmek istenmiştir. Sabitleme kısmı bittikten sonra da yükleme senaryolarına geçilir. Bu noktada önemli olan husus tasarımımızın yapılacak olan testlerinde nasıl bir senaryoya maruz kalmasını istediğimizdir. Bu tasarımcı 3 adet yükleme senaryosu gerçekleştirildi. Bunlardan 1. olanı:



Görsel 12. Burada metal kısmın kenarlarına bütün kenarı kaplayacak şekilde

1000N kuvvet uygulandı. Bunun uygulanma sebebi de bir kılıç darbesinin yaklaşık olarak 800N kuvvet ürettiğini gösteren bir çalışmaydı [3]. Yükleme senaryosu 1 ile kenarlar test edildi. Senaryo 3'te ise aynı kuvvet karşı taraftaki kenarlara uygulandı. Bir farkları yok. Yükleme senaryosu 2'de ise bir çalışmadan [4] ilham alınarak kılıcın uç kısmına vektörel bir kuvvet uygulandı. Yine 1000N olan bu kuvvet dairesel ufak bir alana vektörel olarak etki edecek şekilde uygulandı.



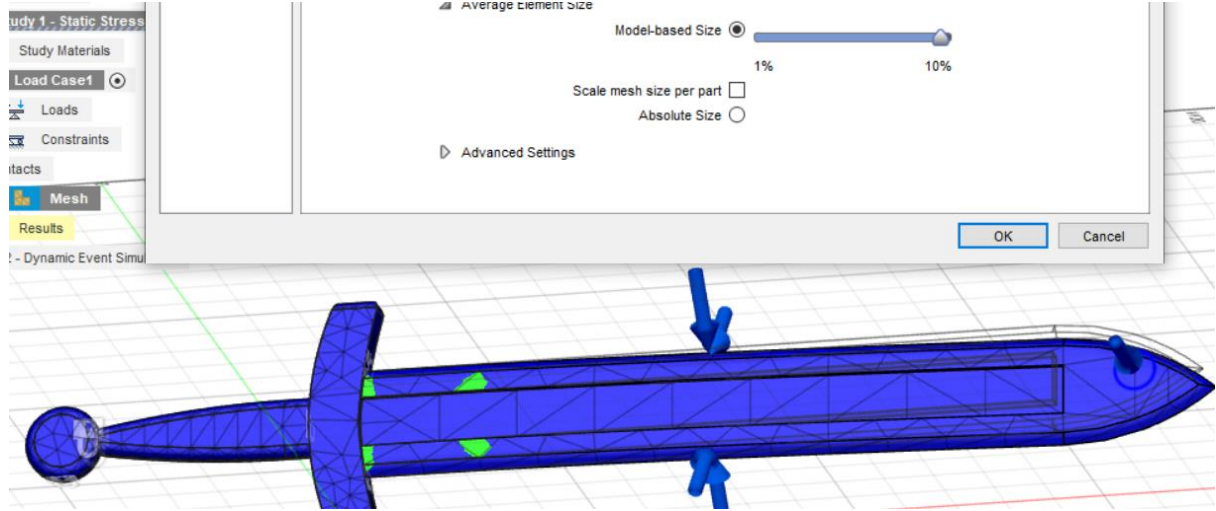
Görsel 13.

Bu üç yükleme senaryosu sonrası analize geçmeden önce son adımlar kaldı. Bir sonraki adımda parçalar arasında oluşan temaslar ve bağlantıları ayarladık. Buna yapmak için “Manuel Contact” adında olan komut kullanıldı. Bu komut üzerinde gerekli ayarlamalar Görsel 14.’de de görülebileceği üzere gerçekleştirildi.

<input type="radio"/> List by Bodies <input checked="" type="radio"/> List by Contact Set					
Contact Set		Contact Type	Penetration Type	Bodies	
> Bonded10		Bonded	▼ Symmetric ▼		
> Bonded11		Bonded	▼ Symmetric ▼		
> Bonded5		Bonded	▼ Symmetric ▼		
> Bonded6		Bonded	▼ Symmetric ▼		
> Bonded7		Bonded	▼ Symmetric ▼		
> Bonded8		Bonded	▼ Symmetric ▼		
> Bonded9		Bonded	▼ Symmetric ▼		
> Separation2		Separation	▼ Symmetric ▼		
> Separation4		Separation	▼ Symmetric ▼		

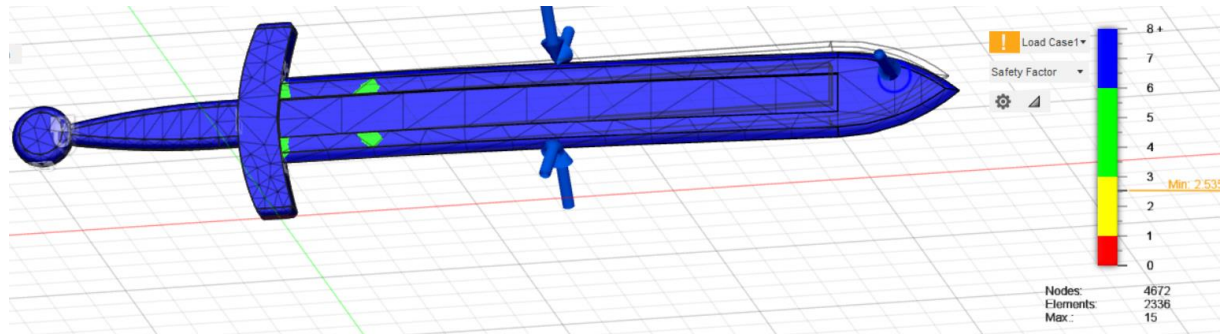
Görsel 14.

Burası da tamamlandıktan sonra Mesh ayarları adı verilen kısım gerçekleştirildi. Bu mesh ayarı olayı modelimizin ne kadar büyüklükte sonsuz küçük parçaya bölünmesini gösterir. Mesh ayarı ne kadar yüksek olursa sistem daha doğru sonuç verir. Dezavantaj olarak da o kadar uzun sürer sistemin çözülmesi. Bu koşullar göz önünde bulundurulduğunda seçilen Mesh ayarı oranı:



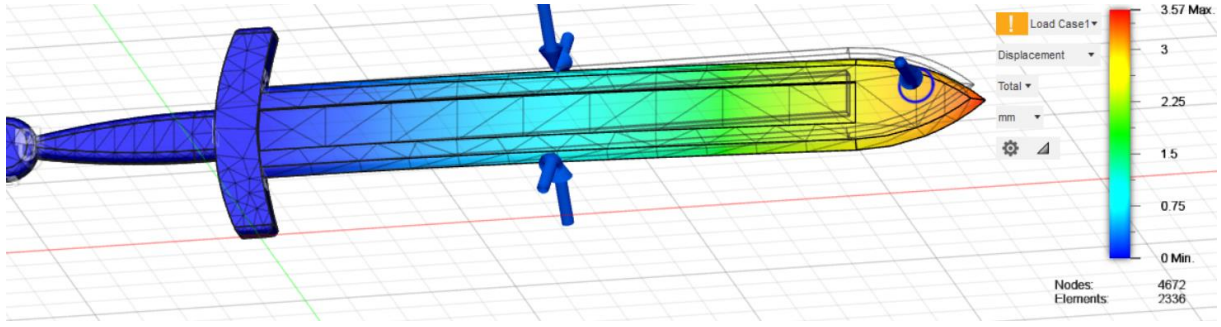
Görsel 15. Mesh ayarı görünebilir. Aynı zamanda meshlerin şekle yansımaları da görülebilir.

Bu ayarlar da tamamlandıktan sonra sistem simülasyona gönderilmeye hazırdır. Mesh ayarı son seviyeye yakın olduğundan dolayı çözümleme daha uzun sürecektir. Sistem simülasyona gönderildikten sonra gelen sonuçlar da aşağıdaki gibidir:



Görsel 16. Güvenlik faktörüne göre değerlendirme.

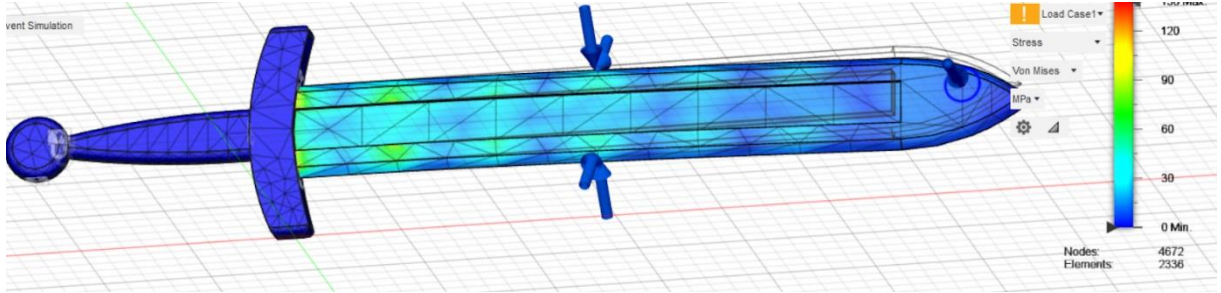
Sistemin güvenlik faktörü denen bir olgu vardır. Bu hesaplama sistemin akma mukavemeti ile istenen akma mukavemetinin oranından hesaplanır. Sistemin sağlıklı şekilde devam edebilmesi için de minimum 2 olarak istenmektedir. Uygulanan yük senaryolarına göre bu faktör minimum olarak 2.535 değeri gelmiştir. Bu sonuç tatmin edicidir. Bu noktadan sonra sistemin maruz kalmış olduğu diğer olası etkiler incelenir. Bunlardan bir tanesi “Displacement” adı verilen yer değiştirme olgusudur. Bu yönden incelediğimizde de:



Görsel 17. Displacement durumu

Sistemin olası yer değiştirme şablonu görülmektedir. Buna göre kılıcın uç kısımları yaşadığı senaryo karşısında bazı tepkiler verecektir ama güvenlik faktöründen dolayı kırılma gerçekleşmeyecektir.

Bir diğer olgu da sistemin maruz kaldığı gerilimin şablonudur. Bunu da aşağıdaki görsel açıklar:



Görsel 18. Stress durumu

En yüksek gerilme değeri olarak 138 MPa değeriyle karşılaşıyoruz. Bu değer de sabitlediğimiz noktaya yakın bir yerde çıkmıştır. Yine de kırmızı renkte kısımlar yani tehlikenin en yüksek olduğu kısımlar olmadığı için kılıcımız statik stress testini tamamlamıştır.

4. Sonuçlar ve Tartışma

Peki bu neyi gösterir. Bu kılıcımıza güvenme konusunda yeterli ispatı sağlar mı? Bu sorunun cevabı ne yazık ki hayır. Bu çalışmanın üzerine ilerleyen makalelerde gerçekleştirilecek olan “Dynamic Event Simulation” metodu ile birlikte kılıca kesme testleri uygulanmalıdır ve o koşullar altında vereceği tepkiler ölçülmelidir.

Ayrı bir sorun olarak da yapılan araştırmalar kılıç yapımında genelde kullanılan malzemelerin çalışmamızdakilerle uyumlu olduğunu gösterse de ortaya çıkan toplam ağırlıklar arasında ciddi farklar olmaktadır. 12 kg’ın üzerinde almış olduğumuz sonuçlarımız gerçekte olan 1 kg civarındaki kılıçlara göre fazlasıyla dezavantajlıdır. Bu yönlerden bakınca tasarım başarısız gibi görünebilir ancak bu bir çalışmadır ve ilk deneme için analiz sonuçları tatmin edicidir. Tasarımdaki gerçekleştirilecek düzeltmeler ile daha verimli sonuçlar elde edilmesi umulmaktadır.

Kaynaklar

[1] *Sword Impacts and Motions - Part 3*. (n.d.). Retrieved January 25, 2023, from https://www.thearma.org/spotlight/GTA/motions_and_impacts3.htm

[2] *Classification of swords - Wikipedia*. (n.d.). Retrieved January 25, 2023, from https://en.wikipedia.org/wiki/Classification_of_swords

[3] *Fusion 360 Sword Tutorial / Fusion 360 / Autodesk Knowledge Network*. (n.d.). Retrieved January 25, 2023, from <https://knowledge.autodesk.com/support/fusion-360/learn-explore/caas/screencast/Main/Details/39bdc2c7-c388-4b88-bb1c-549e45a34fbc.html>

[4] *12. Properties of Swords; 12.1 The Basics; 12.1.1 Sword Performance*. (n.d.). Retrieved January 25, 2023, from https://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/iss/kap_c/backbone/rc_1_1.html