



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC



Model roketlerde burun ve gövde farklı malzemelerinin uçuş performansı üzerindeki etkilerinin bazı parametreler açısından değerlendirilmesi

Evaluation of the effects of nose and body different materials on flight performance in model rockets in terms of some parameters

Yazar(lar) (Author(s)): Abdullah Can AL¹, Indrit MYDERRIZI²

ORCID¹: 0009-0002-4532-8838

ORCID²: 0000-0002-2112-7911

To cite to this article: Al A. C. ve Myderrizi I., “Model roketlerde burun ve gövde farklı malzemelerinin uçuş performansı üzerindeki etkilerinin bazı parametreler açısından değerlendirilmesi”, *Journal of Polytechnic*, *(*) : *, (*).

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz: Al A. C. ve Myderrizi I., “Model roketlerde burun ve gövde farklı malzemelerinin uçuş performansı üzerindeki etkilerinin bazı parametreler açısından değerlendirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, *(*) : *, (*).

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

DOI: 10.2339/politeknik.1527446

Model Roketlerde Burun ve Gövde Farklı Malzemelerinin Uçuş Performansı Üzerindeki Etkilerinin Bazı Parametreler Açısından Değerlendirilmesi

Evaluation of the Effects of Nose and Body Different Materials on Flight Performance in Model Rockets in Terms of Some Parameters

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Performansa dayalı malzeme seçimi / Material selection based on performance
- ❖ Maksimum hızın, uçuş süresinin, vs. değerlendirilmesi / Evaluation of maximum speed, flight time, etc.
- ❖ Farklı malzemelerin uçuş verilerine etkisi / The effect of different materials on flight data

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Bu çalışmada, model roketin burun konisi ve gövde bölümleri için seçilecek malzemeler performans parametrelerine göre belirlenmiştir. / In this study, the materials to be selected for the nose cone and body sections of the model rocket were determined according to the performance parameters.

Çizelge.1 En uygun malzeme seçimleri / Table.1 The most suitable material selection

Nose Cone	1. Body	2. Body	3. Body	Max. velocity (m/s)	Max. altitude (m)	Stability (cal)	Max. acceleration (m/s ²)	Mass with motor (g)	Max. altitude reach (s)	Flight time (s)	Landing velocity (m/s)
PVC	FG	FG	FG	254	2983	1.51	82.3	29256	25.0	176	8.04
PVC	FG	CF	CF	256	3005	1.52	82.9	29085	25.0	179	8.01
PVC	CF	CF	CF	257	3020	1.50	83.3	28970	25.1	183	7.99
PVC	FG	FG	CF	255	2997	1.53	82.7	29145	25.0	179	8.02
PVC	CF	FG	CF	256	3012	1.51	83.1	29030	25.1	181	8.00

Amaç (Aim)

Bu çalışmanın amacı, model roketin burun konisi ve gövde kısımları için seçilecek malzemelerin performans parametrelerine göre belirlenmesidir. / The aim of this study is to determine the materials to be selected for the nose cone and body sections of the model rocket according to the performance parameters,

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

PVC, Karbon fiber, Cam elyaf ve Alüminyum gibi malzemeler, tasarlanan roketin özellikleri ve uçuş değerleri dikkate alınarak benzetimlerle değerlendirilmiştir. / Materials such as PVC, Carbon fiber, Fiberglass and Aluminum, were evaluated by simulations, considering the characteristics and flight values of the designed rocket.

Özgünlük (Originality)

Bu çalışmada malzemelerin uçuş performans parametrelerine etkisi analiz edilmiştir. / In this study, the effect of materials on flight performance parameters was analyzed.

Bulgular (Findings)

Benzetimler, alüminyumun model roketin performansını diğer malzemelere göre olumsuz etkilemesi nedeniyle elendiğini göstermiştir. / Simulations had shown that aluminum was eliminated because it negatively affected the performance of the model rocket compared to other materials.

Sonuç (Conclusion)

Model roket tasarımında malzeme seçimi uçuş performansı üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. / The choice of materials in model rocket design has a strong effect on flight performance.

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

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

Model Roketlerde Burun ve Gövde Farklı Malzemelerin Uçuş Performansı Üzerindeki Etkilerinin Bazı Parametreler Açısından Değerlendirilmesi

Araştırma Makalesi / Research Article

Abdullah Can AL¹, Indrit MYDERRIZI^{2*}

¹Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Havacılık Elektrik ve Elektronik Bölümü, İstanbul Gelişim Üniversitesi, Türkiye

²Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, İstinye Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 03.08.2024 ; Kabul/Accepted : 15.12.2024 ; Erken Görünüm/Early View :11.02.2025)

ÖZ

Model roket tasarımında malzeme seçimi uçuş performansı üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. Ayrıca model roket tasarımı için malzeme seçimine karar verirken, malzemenin maliyetinin yanı sıra performansı da göz önünde bulundurulmalıdır. Havacılık ve model roketçilikte kullanımı en çok tercih edilen PVC, Karbon fiber, Cam elyafı ve Alüminyum gibi malzemeler, tasarlanan roketin özellikleri ve uçuş değerleri dikkate alınarak benzetimlerle değerlendirilmiştir. OpenRocket programı ile yapılan benzetimlerde belirlenen hız, maksimum irtifa, kararlılık, ağırlık oranları, maksimum ivmelenme, uçuş süresi ve iniş hızı ölçütlerine göre değerlendirmeler yapılmıştır. Bulgular, alüminyumun diğer malzemelere kıyasla fazla ağırlıktan dolayı model roketin performansını olumsuz etkilediği için elendiğini göstermiştir. En iyi performansı gösteren tüm malzeme kombinasyonları için roketin burun konisi PVC olarak belirlenmiştir. Gövde bölümlerinde kullanılan PVC esaslı kompozitler, roketlerdeki uçuş verilerini oldukça değişken ve tutarsız bir şekilde etkilemiştir. Örneğin, denge, maksimum irtifa ve uçuş süresi gibi veriler dikkate alındığında tahmin edilen değerlerin dışında anormal derecede düşük veya yüksek değerler ortaya çıkmıştır. Gövde bölümleri için elde edilen değerler birbirine yakın olmasına rağmen, cam elyafın karbon fiberden daha az maliyetli olması onu tasarım için daha uygun hale getirmiştir.

Anahtar Kelimeler: Model roket, Hafif malzemeler, Cam elyaf, Karbon fiber, PVC

Evaluation of the Effects of Nose and Body Different Materials on Flight Performance in Model Rockets in Terms of Some Parameters

ABSTRACT

The choice of materials in model rocket design has a strong effect on flight performance. In addition, when deciding on the choice of material for the model rocket design, the cost of the material as well as the performance should be considered. Materials such as PVC, Carbon fiber, Fiberglass and Aluminum, which are most preferred for use in aviation and model rocketry, were evaluated by simulations, considering the characteristics and flight values of the designed rocket. Evaluations were made according to the criteria of velocity, maximum altitude, stability, weight ratios, maximum acceleration, flight time and landing velocity determined in the simulations carried out with the OpenRocket program. The findings had shown that aluminum was eliminated because it negatively affected the performance of the model rocket due to excess weight compared to other materials. For all material combinations that performed best, the nose cone of the rocket was designated PVC. PVC-based composites used in body sections affected the flight data in rockets in a highly variable and inconsistent way. For example, abnormally low or high values occurred outside the estimated values when considering data such as stability, maximum altitude and flight time. PVC-based composites used in the body sections affected the desired parameters in rockets in an absurdly positive and negative way. Although the values obtained for the body sections were close to each other, the fact that fiberglass was more cost-effective than carbon fiber made it more prominent for the design.

Keywords: Model rocket, Lightweight materials, Fiberglass, Carbon fiber, PVC,

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Teknolojinin gelişmesiyle insanların gökyüzü ve uzaya karşı ilgileri artmıştır. Uzay ve havacılık teknolojisi, faydalı yük ve kontrol sistemlerini içerisinde barındıran roket teknolojilerini geliştirmiştir. Bu teknolojik gelişme gelişmiş ülkeler için ilgi alanı oluşturmuştur. Bu ilgi dünyanın atmosferine ve yörüngesine yönelik roket

çalışmalarının gelişmesine vesile olmuştur. Ancak sadece atmosfer dışına değil atmosfer içi çalışmalar da mevcuttur. Troposfer katmanı içerisinde görev yapan roketlere model roket ismi verilmektedir. Model roketçilikle ilgili çalışmalar, 1950'li yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nde başlamıştır. Günümüzde model roketçiliğe olan ilginin artması ulusal ve uluslararası yarışmalara da yansımıştır [1].

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : indrit.myderrizi@istinye.edu.tr

Model roketçilikte roket tasarımında roketin yapısal bütünlüğü, roketin kararlılığı, aerodinamik verimliliği ve maliyeti temel parametrelerdir [2]. Burun konisi, hava akışı ve sürtünme kuvvetiyle ilk etkileşime giren yerdir [3]. Bu sebepten dolayı burun konisinin tasarımı aerodinamik yapıyı etkilediği için roketin ulaşacağı irtifayı önemli oranda etkilemektedir. Yapılan tasarımlar ve çalışmalar incelenerek burun konilerinin roket üzerindeki aerodinamik etkileri araştırılmıştır [4]. Aerodinamik verimlilikten başka en önemli etkenlerden birisi roketin kararlılığıdır [5]. Uçuşun kararlı olabilmesi için roket içerisindeki ağırlık merkezinin yeri ve basınç merkezinin konumu çok önemlidir [6]. Roket kanatlarının uçuş kararlılığı ve basınç merkezi üzerindeki etkileri belirgindir [7]. Kanatçıkların geometrik yapısı ve fiziksel büyüklükleri kanat profiline etki etmektedir ve basınç merkezinin konumu üzerinde de etkilidir [8]. Kanat geometrisinin ayrıca roketin maksimum irtifası üzerinde de etkisi vardır [9]. Roket kanatçıklarının çok disiplinli tasarım optimizasyonu sayesinde, kararsız davranışa yol açabilecek olumsuz etki olasılığını arttırmadan bunlardan kaynaklanan sürtünme kuvveti azaltılmaktadır [10].

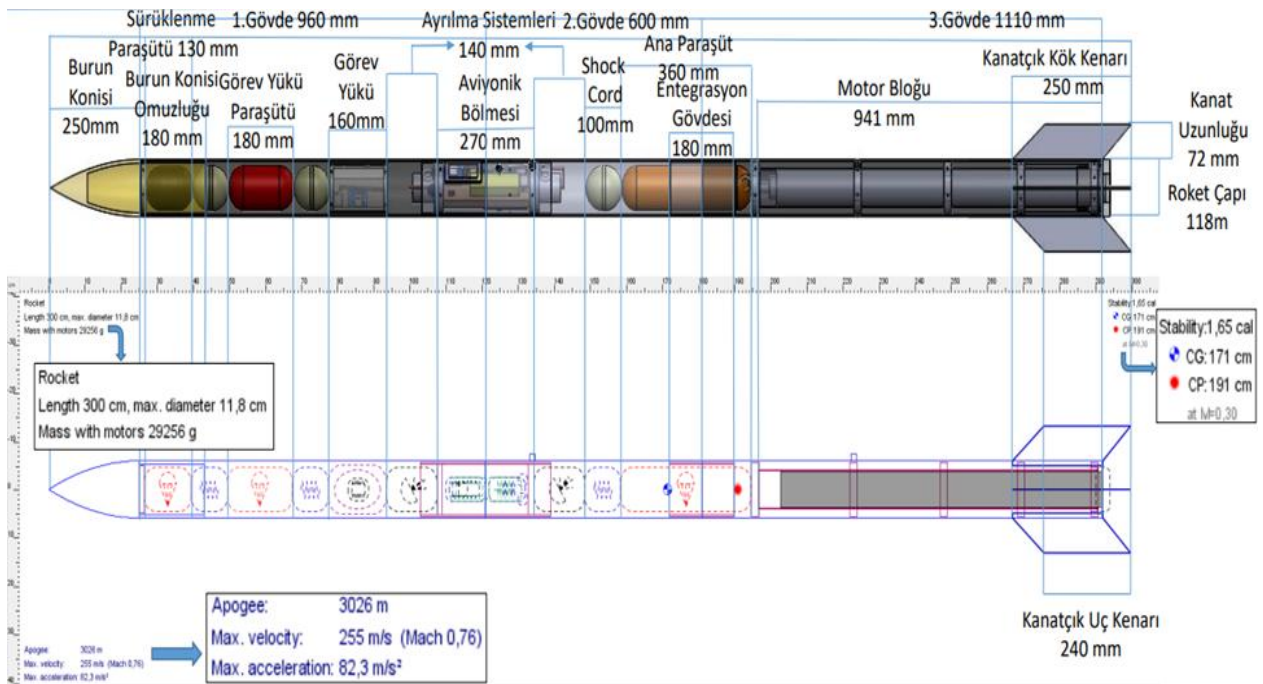
AçıkRoket (OpenRocket) yazılımı kullanılarak katı roket tasarımı ve analizi yapılabilmektedir. Yazılımın programında tasarlanan roketin fiziksel ve geometrik özelliklerin yansırı uçuş karakteristiklerin analizi de gerçekleştirilmektedir [11], [12]. Açık roket programının yazılımında tasarım için gerekli parametreler belirlendikten sonra roket tasarımı tamamlanabilir [3], [13], [14].

Bu çalışmada model roketlerde en çok kullanılan malzemelerin roketin uçuş performansı üzerindeki bazı parametrelere olan etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu sayede model roketin burun ve gövde kısımların malzeme seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar detaylandırılmıştır. Makalenin geri kalanı şu şekilde yapılandırılmıştır: Bölüm 2’de tasarlanan roket hakkında genel bilgilere ve kullanılan malzemelere yer verilmiştir. Roket tasarımı yapılırken dikkat edilmesi gereken ölçütler belirtilmiş olup ele alınan malzemelere dair özellikler özetlenmiştir. Bölüm 3’te çalışmanın performans analizine dayalı roket gövdeleri ve burun konisi için tasarıma uygun malzeme seçimleri sunulmuştur. Araştırmanın analiz ve benzetimlerden elde edilen bulguları Bölüm 4’te verilmiştir. Son olarak, çıkarılan sonuçlar Bölüm 5’te açıklanmıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Farklı malzemelerle analizi yapılacak roketin genel tasarımı Şekil 1’de gösterilmektedir. Tasarlanan roketin özellikleri ve uçuş değerleri dikkate alınarak üç gövde parçasında kullanılması öngörülen Polivinil klorür (PVC), Karbon fiber, Cam elyaf (Fiberglass) ve Alüminyum gibi malzemeler benzetimlerle değerlendirilmiştir.

Benzetimlerde belirlenen denge, maksimum irtifa, ağırlık oranları, maksimum ivmelenme, maksimum irtifa çıkış süresi ve yere iniş hızı ölçütlerine göre değerlendirme yapılmıştır.



Şekil 1. Roket genel tasarımı CAD çizimi (Rocket general design CAD drawing)

Roket hakkında genel bilgiler ve tahmin edilen uçuş verileri sırasıyla Çizelge 1 ve 2’de sunulmuştur. Motor seçimi olarak Cesaroni Technology M2020 motoru seçilmiştir. Bu motorun seçilme nedeni gerekli itki değerini (8429,4 Ns), roket ağırlığını (motor ağırlığı 2683 g) ve roket uzunluğu parametrelerini en olumlu şekilde etkilemesidir.

Çizelge 1. Roket hakkında genel bilgiler (General information about the rocket)

Büyüklik	Değer
Boy (mm)	3000
Çap (mm)	118
Roketin Kuru Ağırlığı (g)	22224
Yakıt Kütlesi (g)	4349
Motorun Kuru Ağırlığı (g)	2683
Faydalı Yük Ağırlığı (g)	4500
Toplam Kalkış Ağırlığı (g)	29256

Çizelge 2. Tahmin edilen uçuş verileri (Estimated flight data)

Veri	Değer
Kalkış İtki/Ağırlık Oranı	0,28812
Rampa Çıkış Hızı (m/s)	31,5
Stabilite - 0,3 Mach için (cal)	1,65
En büyük ivme (g)	82,5
En Yüksek Hız (m/s)	255
En Yüksek Mach Sayısı	0,76
Tepe Noktası İrtifası (m)	3052

Kullanılan malzemeler havacılıkta ve model roketçilikte en çok tercih edilen malzemelerdir. Malzemelerin seçilme sebepleri aşağıda belirtilmiştir.

2.1. Polivinil Klorür (Polyvinyl Chloride / PVC)

PVC seçilmesinin sebepleri hafifken aynı zamanda yeterince sağlam, işlenmesinin diğer malzemelere göre daha kolay ve daha ekonomik olmasıdır [15]. Burun konisinin yapısı parabolik biçimde olduğu için üretim kolaylığı sağlamaktadır. Faraday kafesi etkisi yaratmadığı ve sinyallerin iletilmesinde bir sorun teşkil etmediği için burun konisinin içindeki boşlukta değerlendirilebilir [16], [17].

2.2. Karbon Fiber (Carbon Fiber)

Karbon fiber malzeme model roketçilikte çok kullanılan bir malzemedir. Maliyeti yüksek bir malzemedir fakat sağladığı değerler ve dayanıklılığı yüksek maliyetine rağmen tercih edilmesini sağlamaktadır. Yüksek ısılara dayanması ve roketin iç kısmındaki maliyetli parçaları iyi koruması sebebiyle kullanılmaktadır [18]. 1960’larda, polimer matrisli kompozitler için karbon fiber takviyeleri ticari olarak temin edilebilir hale gelmiştir [19]. Yüksek özgül mukavemet ve sertlik, performans-ağırlık oranı, korozyon direnci, kendi kendini yağlama, yüksek termal kararlılık ve yüksek iletkenlik gibi mükemmel özellikleri nedeniyle, karbon fiber geniş bir yelpazedeki potansiyel uygulamalarda kompozit malzemelerin kullanımı için öncelikle tercih edilir, özellikle makine mühendisliği, mekatronik mühendisliği, havacılık ve otomotiv endüstrilerinde kullanılmaya başlanmasıyla daha üstün

özellikli ürünler ve araçlar üretilmeye başlanmıştır [18], [20], [21].

2.3. Cam Elyaf (Fiberglass)

Cam elyaf ve kompozit malzemesi havacılık sanayinde yaygın olarak kullanılan bir malzeme türüdür [22]. Maliyeti karbon fiber kadar olmazsa da maliyetli bir malzemedir [23]. Cam elyaf Faraday kafesi etkisini minimum seviyede gösterir. Dayanıklılık ve hafiflik açısından büyük avantajlar sağlar [24]. Yanmaz özelliğe sahiptir ve ısıyı iyi emer [25], [26].

2.4. Alüminyum (Aluminum)

Sert ve dayanıklı bir malzemedir [27]. Kullanım amacına göre serileri mevcuttur. Model roketçilikte daha alçak irtifalarda tercih edilir. Maliyeti uygundur fakat yer istasyonu ile roketin iletişimde Faraday kafesi etkisinden dolayı aksaklık yaratır. Ezilme, burulma, bükülmeye müsaittir [28]. Diğer malzemelerden ağır olduğu için irtifa, hız gibi parametreleri olumsuz yönde etkilemektedir [29].

3. PERFORMANS ANALİZİNE DAYALI MALZEME SEÇİMİ (MATERIAL SELECTION BASED ON PERFORMANCE ANALYSIS)

Roketin burun konisi ve gövde bölümlerinde kullanılacak malzemenin seçimi, olası tüm malzeme kombinasyonları için performans benzetim sonuçlarını içeren Ek A'daki genişletilmiş tablolar kullanılarak yapılmıştır. En uygun malzeme seçimine karar verebilmek için malzemenin performansı ve maliyeti birlikte değerlendirilmiştir.

3.1. Roket Gövdeleri (Rocket Bodies)

Alüminyum esaslı gövdeler ağırlıkları nedeniyle irtifayı ve hızı büyük ölçüde etkilemektedir. Ayrıca alüminyum malzeme Faraday kafesi etkisi yaratmaktadır. Bu etki roket havadayken içinde bulunan aviyonik sistemin yer istasyonu ile etkileşime girmesini engellemektedir. Bu durumda, Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS), hız, kararlılık veya diğer istenen verilerin iletimi yalnızca harici özel antenlerle optimize edilebilmektedir. PVC esaslı gövdeler diğer malzemelere göre daha hafif ve ucuzdur, ancak daha az dayanıklıdır. Ufak çarpmalarda bile gövde çatlayabilir veya gövde içindeki malzemeler ciddi zarar görebilir. Gövdenin içinde bulunan malzemeler elektronik aksan ağırlıklı olup maliyeti yüksek malzemelerdir. Roket havalandığında motorun ateşlenmesiyle motor bloğunda ciddi ısı artışı yaşanacaktır. Bu ısı artışı PVC esaslı gövdeye zarar verme ihtimali yüksektir. Hafiflik, dayanıklılık ve sinyal iletimi parametreleri göz önüne alındığında karbon fiber ve cam elyafı malzemeler en iyi sonuçları vermektedir. Karbon fiber ve cam elyafı kompozitler, alüminyum ve PVC esaslı kompozitlere göre daha maliyetli olmakla birlikte, mukavemetleri daha yüksektir. Roket gövdesinde kullanılan aviyonik malzemeler mali açıdan pahalı malzemeler olup, yeniden kullanılması sürdürülebilirlik ve maliyet açısından fayda sağlamaktadır. Ek olarak, karbon fiber ve cam elyafı daha

yüksek uçuş kararlılığına sahiptir. Öte yandan, karbon fiber ve cam elyafı kompozitler arasındaki seçimde minimal farklılıklar önemli bir rol oynamaktadır. Karbon fiber daha yüksek kütle dayanıma ve ısı dirence sahip olmasına rağmen, uçuş sırasında bir Faraday kafesi oluşturma ve sinyali

kesme olasılığı vardır. Cam elyaf kompozit malzemenin sinyal iletmeme sorunu yoktur. Ayrıca havacılık alanında kullanılıyor olması, yüksek sinyal geçirgenliği ve termal genleşmesi cam elyaf tercihini güçlü bir şekilde desteklemektedir.

Roketin gövde kısımları için en uygun kompozit malzemelerin mekanik özellikleri Çizelge 3'te verilmektedir.

Cam elyaftan maksimum mukavemet ve estetik görünüm sağlayabilmek için üretim yöntemi olarak filament sarma yöntemi seçilmiştir. Belirlenen çapa uygun bir alüminyum kalıp, sarım makinasının rotor kısmına takılmaktadır. Kalıbın dönmesiyle reçineye bulaşan filamentler istenilen kalınlığa ulaşıncaya kadar önceden belirlenmiş bir açıda kalıba sarılmaktadır. Seçilen üretim yöntemi ve alternatif üretim yöntemine ilişkin karşılaştırma tablosu Çizelge 4'te verilmiştir.

3.2. Roket Burun Konisi (Rocket Nose Cone)

Roket burun konisi için yapılan analiz ve benzetimlerde alüminyum malzemesinin ağırlığından ve işlenme zorluğundan dolayı uygun olmadığı görüşü benimsenmiştir.

Ayrıca dengeyi, maksimum hızı ve maksimum ivmelenmeyi oldukça etkilemektedir. Karbon fiber ise hem maliyetinin yüksek olmasından dolayı hem de parabolik şekilde işlenip ağırlığın azaltılması için içinin boşaltılacak olmasından dolayı işlem zorluğu çıkarmaktadır. PVC ve cam elyafı en uygun malzemelerdir. Bu iki malzeme arasında dayanım farkı vardır ancak burun kısmında hem maliyet hem de işlenme kolaylığı en önemli faktörlerdir. PVC sentetik plastik polimeri, yüksek mekanik ve darbe dayanımına sahip hafif ve sağlamdır. İşlenmesi diğer malzemelere göre daha kolaydır.

Aynı zamanda diğer malzemelere kıyasla daha ekonomiktir. Cam elyafı da dayanıklı, hafif ve sorunsuzca sinyal geçirebilmektedir. Ayrıca makine ile de işlenebilir (delme, kesme vb.). Ancak burun konik bir yapı olduğundan dolayı cam elyaftan üretimi zor olur ve PVC malzemenin kullanılması daha uygundur. Sonuç olarak PVC esaslı kompozitlerin daha hafif olmaları, irtifa ve maksimum hız konusunda daha fazla avantaj sağlamaları nedeniyle burun konisi için PVC malzemesi seçilmiştir.

Sürüklenme özellikleri ve uçuş performansı yönünden avantajlı olduğu için burun konisi geometrisi parabolik tip seçilmiştir. Burun konisinin boyutları ve kullanılan PVC malzemenin özellikleri sırasıyla Çizelge 5 ve Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 3. Kompozit malzemelerin mekanik özellikleri (Mechanical properties of composite materials)

Malzeme Adı	Yoğunluk (g/cm ³)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Isıl Direnci (°C)	Gerilme Modülü (GPa)
Karbon fiber	1,8	345 - 485	2000 ve üzeri	220 - 240
Cam elyafı	1,85	485	970	85,5

Çizelge 4. Üretim yöntemi karşılaştırma listesi (Production method comparison list)

Üretim Yöntemi	Üretim Kolaylığı	Üretim Maliyeti	Erişilebilirlik	Üretim Süresi
Filament sarma	Orta	Orta	Yüksek	Düşük
Elle yatırma	Yüksek	Düşük	Yüksek	Yüksek

Çizelge 5. Roket burun konisinin boyutları (Dimensions of rocket nose cone)

	Koni uzunluğu/çapı (mm)	Omuz uzunluğu/çapı (mm)	Şekil katsayısı
Burun Konisi	250/118	180/104	1

Çizelge 6. PVC malzemenin mekanik özellikleri (Mechanical properties of PVC material)

Malzeme Adı	Akma Mukavemeti (MPa)	Gerilme Mukavemeti (MPa)	Kütle Yoğunluğu (kg/m ³)	Genleşme Katsayısı (1/°C)
PVC	$6,3 \times 10^{-5}$	$4,07 \times 10^{-5}$	1410	80×10^{-6}

4. BULGULAR VE TARTIŞMALAR (FINDINGS AND DISCUSSIONS)

Model roketin tasarımı ve benzetimleri OpenRocket programı ile gerçekleştirilmiştir. Roketin gövdeleri (1., 2. ve 3.) ve burun konisi için farklı malzemeler (polivinil klörür: PVC, karbon fiber: KF, cam elyafı: CE) kullanılmış ve simülatör üzerinden uçuş verileri (maksimum hız, maksimum irtifa, denge, maksimum ivmeleme, maksimum irtifa ulaşma süresi, uçuş süresi ve yere iniş hızı) incelenmiştir. Analiz sonucunda en iyi 5 sonucu veren malzeme seçimleri belirlenmiştir. Seçim kombinasyonları için değerler Çizelge 7’de açıklanmıştır.

Çizelge 7’de görüldüğü gibi 3000 metre irtifa hedeflenen bir rokette olması istenen parametrelere göre en iyi

sonuçlar PVC, karbon fiber ve cam elyaf kompozit malzemelerle elde edilmektedir. Fiyat performans ölçütü doğrultusunda ve roket gövde bütünlüğü de göz önüne alındığında birinci sıradaki (1. seç) özelliklere sahip roket (burun konisi ve gövdeleri sırasıyla: PVC, cam elyafı, cam elyafı, cam elyafı) en iyi sonucu vermektedir.

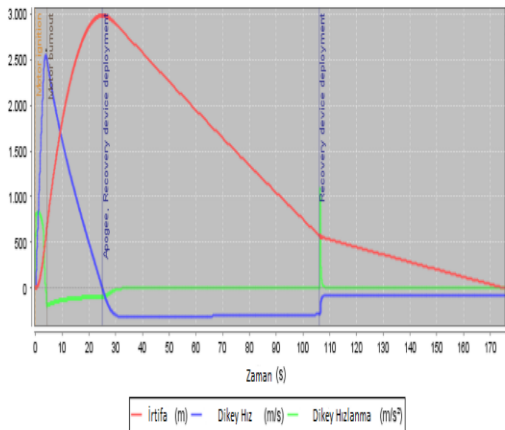
Roketlerin uçuş benzetimleri gerçekleştirilmiş olup her seçim kombinasyonu için uçuş verilerin tablo ve grafikleri ayrı ayrı çıkarılmıştır. 1. seçim için model roket uçuş aşamalarına ilişkin maksimum irtifa, süre, ivme ve hız verileri/grafikleri Çizelge 8 ve Şekil 2’de gösterilmektedir.

Çizelge 7. En iyi performansı gösteren malzeme seçimleri (Best performing material selections)

Burun konisi	1.	2.	3.	Maks hız (m/s)	Maks irtifa (m)	Denge (cal)	Maks ivmeleme (m/s ²)	Motor dahil ağırlık (g)	Maks irtifa ulaş. süresi (s)	Uçuş süresi (s)	İniş hızı (m/s)	Seç. no
PVC	CE	CE	CE	254	2983	1,51	82,3	29256	25,0	176	8,04	1. seç
PVC	CE	KF	KF	256	3005	1,52	82,9	29085	25,0	179	8,01	2. seç
PVC	KF	KF	KF	257	3020	1,50	83,3	28970	25,1	183	7,99	3. seç
PVC	CE	CE	KF	255	2997	1,53	82,7	29145	25,0	179	8,02	4. seç
PVC	KF	CE	KF	256	3012	1,51	83,1	29030	25,1	181	8,00	5. seç

Çizelge 8. 1. seçim için uçuş verileri (Flight data for selection #1)

Uçuş aşaması\ Uçuş verisi	Süre (s)	İrtifa (m)	Hız (m/s)
Fırlatma	0	0	0
Rampa tepesi	1,28	6	31,5
Yanma	4,34	691	249,8
Tepe noktası	25	2983	0
1. paraşüt açılması	25	2983	25,42
2. paraşüt açılması	106	544	8,04
Paraşüt sonrası	-	-	8,04

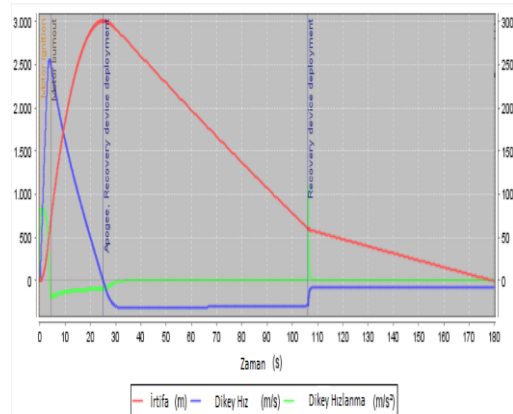


Şekil 2. 1. seçim için uçuş grafikleri (Flight charts for selection #1)

2. seçim için model roket uçuş aşamalarına ilişkin maksimum irtifa, süre, ivme ve hız verileri/grafikleri Çizelge 9 ve Şekil 3’te gösterilmektedir.

Çizelge 9. 2. seçim için uçuş verileri (Flight data for selection #2)

Uçuş aşaması\ Uçuş verisi	Süre (s)	İrtifa (m)	Hız (m/s)
Fırlatma	0	0	0
Rampa tepesi	1,29	6	31,3
Yanma	4,36	689	247,5
Tepe noktası	25	3005	0
1. paraşüt açılması	25	3005	25,38
2. paraşüt açılması	106	548	8,01
Paraşüt sonrası	-	-	8,01

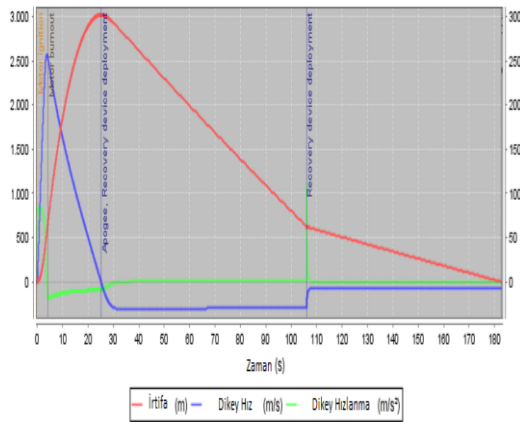


Şekil 3. 2. seçim için uçuş grafikleri (Flight charts for selection #2)

3. seçim için model roket uçuş aşamalarına ilişkin maksimum irtifa, süre, ivme ve hız verileri/grafikleri Çizelge 10 ve Şekil 4'te gösterilmektedir.

Çizelge 10. 3. seçim için uçuş verileri (Flight data for selection #3)

Uçuş aşaması\ Uçuş verisi	Süre (s)	İrtifa (m)	Hız (m/s)
Fırlatma	0	0	0
Rampa tepesi	1,31	6	31,38
Yanma	4,31	681	246,78
Tepe noktası	25,1	3020	0
1. paraşüt açılması	25,1	3020	26,08
2. paraşüt açılması	106	552	7,99
Paraşüt sonrası	-	-	7,99

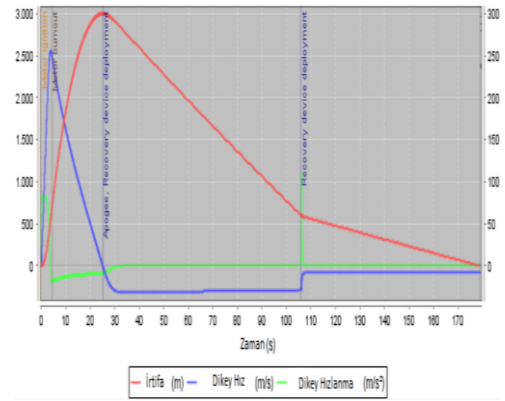


Şekil 4. 3. seçim için uçuş grafikleri (Flight charts for selection #3)

4. seçim için model roket uçuş aşamalarına ilişkin maksimum irtifa, süre, ivme ve hız verileri/grafikleri Çizelge 11 ve Şekil 5'te gösterilmektedir.

Çizelge 11. 4. seçim için uçuş verileri (Flight data for selection #4)

Uçuş aşaması\ Uçuş verisi	Süre (s)	İrtifa (m)	Hız (m/s)
Fırlatma	0	0	0
Rampa tepesi	1,27	6	31,6
Yanma	4,35	693	248,61
Tepe noktası	25	2997	0
1. paraşüt açılması	25	2997	25,39
2. paraşüt açılması	106	545	8,02
Paraşüt sonrası	-	-	8,02

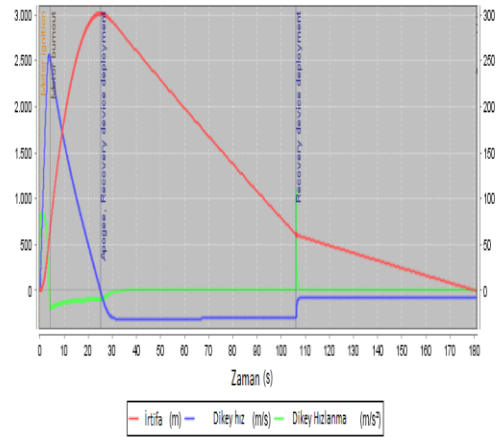


Şekil 5. 4. seçim için uçuş grafikleri (Flight charts for selection #4)

5. seçim için model roket uçuş aşamalarına ilişkin maksimum irtifa, süre, ivme ve hız verileri/grafikleri Çizelge 12 ve Şekil 6'da gösterilmektedir.

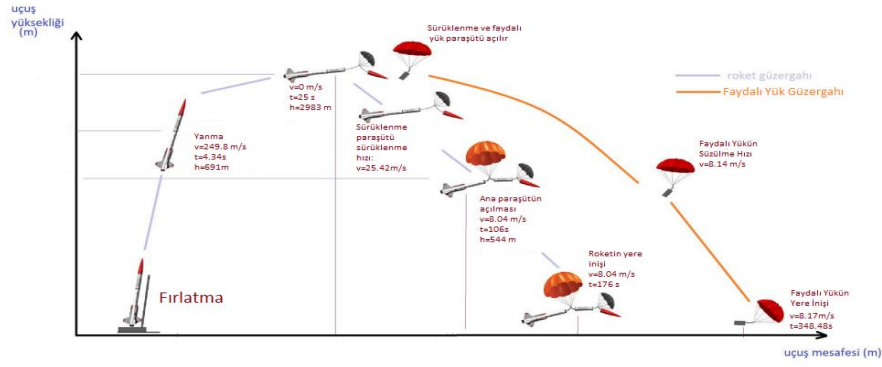
Çizelge 12. 5. seçim için uçuş verileri (Flight data for selection #5)

Uçuş aşaması\ Uçuş verisi	Süre (s)	İrtifa (m)	Hız (m/s)
Fırlatma	0	0	0
Rampa tepesi	1,33	6	31,42
Yanma	4,33	683	246,93
Tepe noktası	25,1	3012	0
1. paraşüt açılması	25,1	3012	26,08
2. paraşüt açılması	106	550	8,00
Paraşüt sonrası	-	-	8,00



Şekil 6. 5. seçim için uçuş grafikleri (Flight charts for selection #5)

Seçim kombinasyonlarından en iyi performansı gösteren model roketin (1. seç) uçuş aşamaları örnek olarak Şekil 7'de gösterilmektedir.



Şekil 7. En iyi performansı gösteren model roketin uçuş aşamaları (Flight stages of the best performing model rocket)

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND CONCLUSION)

Bu çalışmada 3000 metre model roketlerde en çok kullanılan dört malzemenin birbirleri ile karşılaştırılarak en uygun fiyat-performans seçiminin yapılması amaçlanmıştır. Model roketler dört ana bölüm olarak ele alınmıştır. Roket burnu, birinci gövde (ana sistemlerin yer aldığı), ikinci gövde (kurtarma sistemleri ve mekanik desteklerin yer aldığı) ve üçüncü gövde (motor ve motor bloğunun yer aldığı) olarak ayrılmıştır. Her bir bölüm için dört farklı malzeme benzetimlerde kullanılarak veriler elde edilmiştir. Bu sayede proje olarak veya yarışmalara katılmak için model roket tasarlamak isteyen kişiler için malzeme seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar detaylandırılmıştır. Bu alana ilgi duyanlar için yol gösterici nitelikte bir çalışma örneğidir.

Çalışmada ele alınan ölçütler, model roket için en temel parametrelerdir. OpenRocket programından elde edilen tasarımların benzetimleri ayrıntılı bir şekilde incelenmiş ve tasarıma uygun en iyi performans gösteren malzeme kombinasyonları belirlenmiştir.

PVC esaslı kompozitler, düşük maliyetleri nedeniyle roketlerde tercih edilmektedir. Ancak diğer malzemelere göre yanmaya ve yüksek sıcaklıklara karşı dirençlerinin düşük olması ve darbelere karşı dayanımlarının daha düşük olması nedeniyle burun kısmında tercih edilmektedirler. Ayrıca gövde kısımlarında kullanılan PVC esaslı kompozitler roketlerdeki uçuş verilerini oldukça değişken ve tutarsız bir şekilde etkilemektedir. Örneğin, denge, maksimum irtifa ve uçuş süresi gibi veriler dikkate alındığında tahmin edilen değerlerin dışında anormal derecede düşük veya yüksek değerler ortaya çıkmaktadır (bkz. Çizelge A1).

Alüminyum maliyet olarak cam elyaf ve karbon fiberden daha ekonomik bir seçimdir. Ancak yoğunluğu daha fazla olduğundan aynı hacimdeki cam elyaf ve karbon fibere göre daha ağırdır. Burun kısmında tercih edilmemektedir. Bunun ana sebebi dengeyi olumsuz yönde etkilemesidir. Model roketçilikte alçak irtifalarda alüminyum gövdeler tercih edilse de ağırlıkları tüm uçuş parametrelerini etkilemektedir. Hız, maksimum irtifa, ivme vb. parametreler ağırlığa göre değişmektedir. Bu değişiklik ağırlıkla ters orantılıdır. Ağırlık arttıkça

parametreler olumsuz etkilenir. Ayrıca sinyal geçirgenliğini sağlamak için gövdelerin et kalınlıkları genel olarak 4-6 mm arasında olduğundan dış darbelere karşı alüminyum gövdelerde eğilme, bükülme gibi durumlar gözlemlenebilmektedir.

Cam elyaf ve karbon fiber kompozit malzemelerin maliyetleri PVC ve alüminyumdan önemli ölçüde daha yüksektir. Hafif olmaları ve daha yüksek maliyetleri nedeniyle burun bölgesinden ziyade gövde bölgelerinde tercih edilirler. Sinyal geçirgenliği daha iyidir. Kararlı malzemeler oldukları için parametrelerin kolayca istenilen değerlere getirilmesine yani istenilen tasarım ve modifikasyonların yapılabilmesine olanak sağlarlar. Bu iki kompozit arasında cam elyafı daha uygun maliyetli olduğu için daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Cam elyaftan farklı olarak, karbon fiber gövdeler içinden sinyal gönderildiğinde bir Faraday kafesi oluşur ve sinyalin dışarı çıkmasını engellemektedir.

Bu çalışmadaki sonuçlardan da görülebileceği gibi alüminyum malzeme diğer kompozitlere göre uçuş performansını olumsuz etkilediği için elenmiştir. Kalan malzemelerin fiyat aralıkları yüksekten düşüğe doğru karbon fiber, cam elyaf ve PVC şeklindedir. En iyi performans gösteren tüm malzeme kombinasyonlarında, roketin burun konisi PVC olarak belirlenmiştir. Gövdeler için elde edilen değerler birbirine yakın olmakla birlikte cam elyafın karbon fibere göre daha uygun maliyetli olması seçimde etkili olmuştur. Sonuç olarak, model roket tasarımı için cam elyaf, yüksek dayanımı ve uygun maliyeti nedeniyle öncelikli malzeme olarak seçilmiştir.

ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarları çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

Abdullah Can AL: Literatür taraması, simülasyonların yapılması.

Indrit MYDERRIZI: Makalenin yazılması, literatür taraması, sonuçların yorumlanması.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Asilyazıcı E., “Modern roket tasarımı”, Master Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2001).
- [2] Bohrer T. W., “Development of a subsonic sounding rocket for research flights of variable payloads”, Master Tezi, San Jose State University, Department of Aerospace Engineering, San Jose, (2017).
- [3] Çetin F., Demirhan B., Kıvrak A., Ünler T. “Katı Yakıtlı Model Roket Tasarımı ve Uçuş Simülasyonu”, **3rd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences**, Konya-Türkiye, 2394-2398, 20-23 July, (2022).
- [4] Shah S., Tanwani N., Singh S. K., Makwana M. M., “Drag analysis for sounding rocket nose cone”, **International Research Journal of Engineering and Technology**, 07 (7), 2393-2397, (2020).
- [5] Azevedo F. S., “Lines of practice: A practice-centered theory of interest relationships”, **Cognition and Instruction**, 29 (2), 147–184, (2011).
- [6] Azevedo F. S., “Knowing the Stability of Model Rockets: A Study of Learning in Interest-Based Practices”, **Cognition and Instruction**, 31 (3), 345-374, (2013).
- [7] Stine G. H., Stine B., “Handbook of Model Rocketry”, **John Wiley & Sons**, New York, A.B.D., (2004).
- [8] Tola C., Nikbay M., “Investigation of the effect of thickness, taper ratio and aspect ratio on fin flutter velocity of a model rocket using response surface method”, **7th International Conference on Recent Advances in Space Technologies**, İstanbul-Türkiye, 16-19 June, (2015).
- [9] Pektaş A., Hacıabdulloğlu Ü., Ejder N., Demircan Z., Tola C., “Effects of Different Fin Shapes on Apogee and Stability of Model Rockets”, **9th International Conference on Recent Advances in Space Technologies**, İstanbul-Türkiye, (2019).
- [10] Barbosa A. N., Guimarães L. N. F., “Multidisciplinary Design Optimization of Sounding Rocket Fins Shape Using a Tool Called MDO-SONDA”, **Journal of Aerospace Technology and Management**, 4 (4), 431-442, (2012).
- [11] Rohini D., Sasikumar C., Samiyappan P., Dakshinamurthy B., Koppula N., “Design & analysis of solid rocket using open rocket software”, **Materials Today: Proceedings**, 64 (1), 425-430, (2022).
- [12] Bilgic H. H., Coban S., Yapıcı A., “Designing, Modeling and Simulation of Solid Fuel Rocket ALP-01”, **European Journal of Science and Technology**, 15, 511-518, (2018).
- [13] Niskanen S., “Development of an Open Source model rocket simulation”, Master Tezi, Helsinki University of Technology, Faculty of Information and Natural Sciences, Helsinki, (2009).
- [14] Nanditta R. V., Das N. K., Venkatesan A., Rohit R., Gowtham R., Nagulash R. B., Stephen J. D. G., “Structural Design and Analysis of High-Powered Model Rockets using OpenRocket”, **International Journal of Engineering Research in Mechanical and Civil Engineering**, 6 (8), 64-68, (2021).
- [15] Boztepe H., “PVC esaslı kompozit film üretimi ve karakterizasyonu”, Master Tezi, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eskişehir, (2021).
- [16] Şahin S., Karaman S., Örüng İ., “Atık PVC katkılı hafif betonların özellikleri ve tarımsal yapılarda kullanım olanakları”, **Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi**, 4 (2), 137-144, (2007).
- [17] Czogala J., Pankalla E., Turczyn R., “Recent attempts in the design of efficient PVC plasticizers with reduced migration”, **Materials**, 14 (4), 1-28, (2021).
- [18] Özsin G., Pütün A. E., “Pitch based carbon fiber production”, **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 33 (4), 1433-1444, (2018).
- [19] Paiva J. M. F., Santos A. D. N., Rezende M. C., “Mechanical and morphological characterizations of carbon fiber fabric reinforced epoxy composites used in aeronautical field”, **Materials Research**, 12 (3), 367-374, (2009).
- [20] Gülcan E., “Karbon dokuma kumaş takviyeli kompozit malzemelerin fiziksel özelliklerinin incelenmesi”, Master Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, (2019).
- [21] Öztürk O. ve Elaldı F., “Low Velocity Bird-Like Impact Behavior on Honeycomb Composite Structure”, **Politeknik Dergisi**, 27(5): 1999-2011, (2024).
- [22] Kaya Z., Balcıoğlu H. E. ve Gün H., “Fiber takviyeli kompozitlerin farklı deformasyon hızındaki Mod I ve Mod II kırılma davranışlarının incelenmesi”, **Politeknik Dergisi**, 25(2): 843-853, (2022).
- [23] Yalçınsozan M., Sarı E., “The Impact of Diferent Application Techniques on Fiberglass Casts: A Mechanical Experimental Study”, **Indian Journal of Orthopaedics**, 54 (1), S178–S182, (2020).
- [24] Korku M., Feyzullahoğlu E. ve İlhan R., “Farklı türlerde polyester ve çekme katkısı içeren cam elyaf takviyeli polyester kompozit malzemelerde çevresel koşulların aşınma davranışlarına olan etkilerinin incelenmesi”, **Politeknik Dergisi**, 27(1): 197-209, (2024).
- [25] Smith G. D., Hart R. G., Tsai T. M., “Fiberglass cast application”, **The American Journal of Emergency Medicine**, 23 (3), 347-50, (2005).
- [26] Wallenberger F. T., Bingham P. A., “Fiberglass and Glass Technology: Energy-Friendly Compositions and Applications”, **Springer**, New York, A.B.D., (2010).
- [27] Bedir F., “Alüminyum kompozitlerin üretimi, karakteristik özellikleri ve endüstriyel uygulamaları”, **Mühendis ve Makine**, 47 (554), 28-35, (2006).
- [28] Demir E., “Alüminyum alaşımlarda ısıtım işlem etkilerinin incelenmesi”, Master Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, (2008).
- [29] Yurdakul M., Özbay O., Yusuf İ. Ç., “Selection of aerospace aluminum alloys”, **Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University**, 17 (2), 1-23, (2002).

EK A (APPENDIX A)

Dört malzemelerle yapılan performans benzetim sonuçları için genişletilmiş tablolar aşağıdaki gibi verilmektedir. Malzemeler: PVC, Cam elyaf (CE), Karbon fiber (KF), Alüminyum (Al).

Çizelge A1. Burun konisi PVC ve gövde kısımları farklı malzemelerden olan model roketin performansı (The performance of the model rocket with the nose cone of PVC and the body parts of different materials)

Burun konisi	1.	2.	3.	Maks. hız (m/s)	Maks. irtifa (m)	Denge (cal)	Maks. ivmeleme (m/s ²)	Motor dahil ağırlık (g)	Maks. irtifa ulaş süresi (s)	Uçuş süresi (s)	Yere iniş hızı (m/s)
PVC	PVC	PVC	PVC	272	3216	1,43	88,4	27497	25,6	217	7,75
PVC	PVC	PVC	CE	264	3118	1,29	85,8	28228	25,4	199	7,87
PVC	PVC	PVC	KF	265	3133	1,31	86,1	28117	25,4	202	7,85
PVC	PVC	PVC	Al	251	2941	1,06	81,3	29580	24,8	169	8,09
PVC	PVC	CE	PVC	267	3163	1,46	86,9	27892	25,5	207	7,82
PVC	PVC	CE	CE	260	3066	1,32	84,4	28624	25,2	189	7,94
PVC	PVC	CE	KF	261	3080	1,34	84,8	28512	25,3	193	7,91
PVC	PVC	CE	Al	247	2890	1,09	80,0	29975	27,7	160	8,16
PVC	PVC	KF	PVC	268	3171	1,45	87,1	27832	25,5	209	7,82
PVC	PVC	KF	CE	261	3074	1,32	84,6	28564	25,2	191	7,93
PVC	PVC	KF	KF	262	3088	1,34	85,0	28452	25,3	193	7,92
PVC	PVC	KF	Al	248	2898	1,08	80,2	29915	24,7	161	8,15
PVC	PVC	Al	PVC	260	3066	1,51	84,4	28623	25,2	191	7,94
PVC	PVC	Al	CE	253	2970	1,37	82,0	29354	24,9	173	8,06
PVC	PVC	Al	KF	254	2985	1,39	82,4	29243	25,0	175	8,04
PVC	PVC	Al	Al	241	2798	1,14	77,9	30706	24,4	145	8,27
PVC	CE	PVC	PVC	265	3131	1,62	86,1	28130	25,4	201	7,86
PVC	CE	PVC	CE	258	3035	1,48	83,6	28861	25,1	185	7,98
PVC	CE	PVC	KF	259	3049	1,50	84,0	28750	25,2	186	7,96
PVC	CE	PVC	Al	245	2860	1,24	79,3	30213	24,6	155	8,19
PVC	CE	CE	PVC	261	3079	1,65	84,7	28525	25,3	192	7,92
PVC	CE	CE	CE	254	2983	1,51	82,3	29256	25,0	176	8,04
PVC	CE	CE	KF	255	2997	1,53	82,7	29145	25,0	179	8,02
PVC	CE	CE	Al	242	2810	1,27	78,1	30608	24,4	147	8,25
PVC	CE	KF	PVC	262	3087	1,64	84,9	28465	25,3	193	7,91
PVC	CE	KF	CE	255	2991	1,50	82,5	29196	25,0	177	8,03
PVC	CE	KF	KF	256	3005	1,52	82,9	29085	25,0	179	8,01
PVC	CE	KF	Al	242	2818	1,27	78,3	30548	24,4	148	8,25
PVC	CE	Al	PVC	254	2983	1,69	82,3	29256	25,0	175	8,04
PVC	CE	Al	CE	247	2889	1,55	80,0	29987	24,7	160	8,16
PVC	CE	Al	KF	248	2903	1,57	80,4	29976	24,7	163	8,14
PVC	CE	Al	Al	235	2719	1,32	76,0	31339	24,1	132	8,37
PVC	KF	PVC	PVC	266	3147	1,58	86,5	28015	25,4	205	7,84
PVC	KF	PVC	CE	259	3050	1,45	84,0	28746	25,2	187	7,96
PVC	KF	PVC	KF	260	3064	1,47	84,4	28635	25,2	190	7,94
PVC	KF	PVC	Al	246	2874	1,21	79,7	30098	24,6	158	8,18
PVC	KF	CE	PVC	262	3094	1,61	85,1	28410	25,3	195	7,90
PVC	KF	CE	CE	255	2998	1,47	82,7	29141	25,0	179	8,01
PVC	KF	CE	KF	256	3012	1,49	83,1	29030	25,1	181	8,00
PVC	KF	CE	Al	243	2824	1,24	78,5	30493	24,5	149	8,24
PVC	KF	KF	PVC	263	3102	1,61	85,3	28350	25,3	196	7,89
PVC	KF	KF	CE	256	3006	1,47	82,9	29081	25,0	179	8,01
PVC	KF	KF	KF	257	3020	1,49	83,3	28970	25,1	183	7,99
PVC	KF	KF	Al	243	2832	1,23	78,7	30433	24,5	150	8,22
PVC	KF	Al	PVC	255	2998	1,65	82,7	29141	25,0	178	8,02
PVC	KF	Al	CE	248	2903	1,52	80,4	29872	24,7	162	8,14
PVC	KF	Al	KF	249	2917	1,54	80,7	29761	24,8	165	8,13
PVC	KF	Al	Al	236	2734	1,29	76,4	31224	24,2	135	8,35
PVC	Al	PVC	PVC	254	2980	1,95	82,2	29280	25,0	176	8,05
PVC	Al	PVC	CE	247	2885	1,81	79,9	30011	24,7	159	8,16
PVC	Al	PVC	KF	248	2900	1,83	80,3	29900	24,7	162	8,14
PVC	Al	PVC	Al	235	2717	1,56	76,0	31363	24,1	132	8,37

PVC	Al	CE	PVC	250	2928	1,97	81,0	29675	24,8	166	8,10
PVC	Al	CE	CE	243	2835	1,83	78,7	30407	24,5	151	8,22
PVC	Al	CE	KF	244	2849	1,85	79,1	30295	24,6	153	8,21
PVC	Al	CE	Al	232	2668	1,58	74,9	31758	24,0	123	8,43
PVC	Al	KF	PVC	251	2936	1,96	81,2	29615	24,8	168	8,09
PVC	Al	KF	CE	244	2843	1,82	78,9	30346	24,5	153	8,21
PVC	Al	KF	KF	245	2857	1,84	79,3	30235	24,6	154	8,20
PVC	Al	KF	Al	232	2676	1,58	75,0	31698	24,0	125	8,43
PVC	Al	Al	PVC	243	2835	2,00	78,7	30406	24,5	151	8,22
PVC	Al	Al	CE	237	2744	1,86	76,6	31137	24,2	136	8,34
PVC	Al	Al	KF	238	2758	1,88	76,9	31026	24,3	138	8,32
PVC	Al	Al	Al	226	2581	1,62	72,9	32489	23,7	110	8,54

Çizelge A2. Burun konisi cam elyafı ve gövde kısımları farklı malzemelerden olan model roketin performansı (The performance of the model rocket with the nose cone of fiber glass and the body parts of different materials)

Burun konisi	1.	2.	3.	Maks. hız (m/s)	Maks irtifa (m)	Denge (cal)	Maks. vmeleme (m/s ²)	Motor dahil ağırlık (g)	Maks. irtifa ulaş süresi (s)	Uçuş süresi (s)	Yere iniş hızı (m/s)
CE	PVC	PVC	PVC	269	3180	1,55	87,4	27765	25,5	210	7,79
CE	PVC	PVC	CE	261	3083	1,42	84,8	28497	25,3	193	7,92
CE	PVC	PVC	KF	262	3097	1,44	85,2	28385	25,3	195	7,90
CE	PVC	PVC	Al	248	2906	1,18	80,4	29848	24,7	162	8,14
CE	PVC	CE	PVC	265	3127	1,58	86,0	28161	25,4	200	7,86
CE	PVC	CE	CE	257	3030	1,44	83,5	28892	25,1	184	7,97
CE	PVC	CE	KF	259	3045	1,46	83,9	28781	25,2	186	7,96
CE	PVC	CE	Al	245	2856	1,21	79,2	30224	24,6	154	8,21
CE	PVC	KF	PVC	265	3135	1,58	86,2	28100	25,4	202	7,85
CE	PVC	KF	CE	258	3038	1,44	83,7	28832	25,1	185	7,97
CE	PVC	KF	KF	259	3053	1,46	84,1	28721	25,2	188	7,95
CE	PVC	KF	Al	245	2863	1,2	79,4	30184	24,6	156	8,19
CE	PVC	Al	PVC	257	3030	1,63	83,5	28891	25,1	184	7,98
CE	PVC	Al	CE	251	2935	1,49	81,1	29623	24,8	168	8,10
CE	PVC	Al	KF	252	2950	1,51	81,5	29511	24,9	170	8,08
CE	PVC	Al	Al	238	2764	1,26	77,1	30974	24,3	139	8,31
CE	CE	PVC	PVC	262	3095	1,74	85,2	28398	25,3	195	7,90
CE	CE	PVC	CE	255	2999	1,60	82,7	29129	25,0	179	8,02
CE	CE	PVC	KF	256	3014	1,62	83,1	29018	25,1	181	8,00
CE	CE	PVC	Al	243	2826	1,36	78,5	30481	24,5	150	8,24
CE	CE	CE	PVC	258	3043	1,76	83,8	28793	25,1	185	7,97
CE	CE	CE	CE	251	2948	1,63	81,5	29525	24,9	170	8,08
CE	CE	CE	KF	252	2962	1,65	81,8	29413	24,9	172	8,06
CE	CE	CE	Al	239	2776	1,39	77,4	30876	24,3	141	8,30
CE	CE	KF	PVC	259	3051	1,76	84,0	28733	25,2	187	7,95
CE	CE	KF	CE	252	2956	1,62	81,6	29465	24,9	171	8,07
CE	CE	KF	KF	253	2970	1,64	82,0	29353	24,9	173	8,06
CE	CE	KF	Al	240	2784	1,38	77,5	30816	24,3	142	8,29
CE	CE	Al	PVC	251	2948	1,80	81,5	29524	24,9	169	8,08
CE	CE	Al	CE	245	2854	1,67	79,2	30255	24,6	154	8,20
CE	CE	Al	KF	246	2868	1,69	79,5	30144	24,6	156	8,18
CE	CE	Al	Al	233	2687	1,43	75,3	31607	24,1	126	8,41
CE	KF	PVC	PVC	263	3108	1,71	85,5	28302	25,3	197	7,89
CE	KF	PVC	CE	256	3012	1,57	83,0	29033	25,1	181	8,01
CE	KF	PVC	KF	257	3026	1,59	83,4	28922	25,1	183	7,99
CE	KF	PVC	Al	244	2838	1,33	78,8	30385	24,5	151	8,22
CE	KF	CE	PVC	259	3056	1,74	84,2	28697	25,2	188	7,95
CE	KF	CE	CE	252	2960	1,60	81,8	29428	24,9	172	8,07
CE	KF	CE	KF	253	2975	1,62	82,1	29317	24,9	175	8,06
CE	KF	CE	Al	240	2788	1,36	77,6	30780	24,4	144	8,28
CE	KF	KF	PVC	260	3064	1,73	84,4	28637	25,2	189	7,94
CE	KF	KF	CE	253	2968	1,59	82,0	29368	24,9	173	8,06

CE	KF	KF	KF	254	2983	1,62	82,3	29257	25,0	175	8,04
CE	KF	KF	Al	241	2796	1,35	77,8	30720	24,4	144	8,27
CE	KF	Al	PVC	252	2961	1,78	81,8	29428	24,9	172	8,07
CE	KF	Al	CE	246	2867	1,64	79,5	30159	24,6	156	8,18
CE	KF	Al	KF	247	2881	1,66	79,8	30048	24,7	159	8,17
CE	KF	Al	Al	234	2698	1,41	75,6	31511	24,1	129	8,39
CE	Al	PVC	PVC	251	2942	2,07	81,3	29567	24,8	168	8,09
CE	Al	PVC	CE	244	2849	1,93	79,1	30298	24,6	153	8,21
CE	Al	PVC	KF	245	2863	1,95	79,4	30187	24,6	156	8,19
CE	Al	PVC	Al	233	2681	1,68	75,2	31650	24,0	125	8,42
CE	Al	CE	PVC	247	2892	2,09	80,1	29962	24,7	160	8,16
CE	Al	CE	CE	241	2799	1,94	77,9	30694	24,4	145	8,27
CE	Al	CE	KF	242	2813	1,97	78,2	30582	24,4	147	8,25
CE	Al	CE	Al	229	2634	1,70	74,1	32042	23,9	118	8,48
CE	Al	KF	PVC	248	2899	2,08	80,3	29902	24,7	162	8,14
CE	Al	KF	CE	241	2807	1,94	78,1	30633	24,4	147	8,26
CE	Al	KF	KF	242	2821	1,96	78,4	30522	24,5	149	8,24
CE	Al	KF	Al	230	2641	1,70	74,3	31985	23,9	119	8,47
CE	Al	Al	PVC	241	2799	2,12	77,9	30693	24,4	145	8,28
CE	Al	Al	CE	235	2709	1,98	75,8	31424	24,1	130	8,38
CE	Al	Al	KF	236	2722	2,00	76,1	31313	24,1	132	8,37
CE	Al	Al	Al	224	2548	1,74	72,2	32776	23,6	106	30,0

Çizelge A3. Burun konisi karbon fiber ve gövde kısımları farklı malzemelerden olan model roketin performansı (The performance of the model rocket with the nose cone of carbon fiber and the body parts of different materials)

Burun konisi	1.	2.	3.	Maks hız (m/s)	Maks irtifa (m)	Denge (cal)	Maks. ivmeleme (m/s ²)	Motor dahil ağırlık (g)	Maks irtifa ulaş süresi (s)	Uçuş süresi (s)	Yere iniş hızı (m/s)
KF	PVC	PVC	PVC	269	3186	1,53	87,5	27722	25,6	211	7,79
KF	PVC	PVC	CE	262	3088	1,40	85,0	28453	25,3	194	7,91
KF	PVC	PVC	KF	263	3103	1,42	85,4	28342	25,3	197	7,89
KF	PVC	PVC	Al	249	2912	1,16	80,6	29805	24,8	164	8,13
KF	PVC	CE	PVC	265	3133	1,56	86,1	28117	25,4	202	7,85
KF	PVC	CE	CE	258	3036	1,42	83,7	28848	25,1	185	7,98
KF	PVC	CE	KF	259	3051	1,44	84,0	28773	25,2	187	7,97
KF	PVC	CE	Al	245	2861	1,19	79,4	30200	24,6	155	8,19
KF	PVC	KF	PVC	266	3141	1,56	86,4	28057	25,4	203	7,83
KF	PVC	KF	CE	258	3044	1,42	83,9	28788	25,2	187	7,96
KF	PVC	KF	KF	260	3059	1,44	84,2	28677	25,2	189	7,94
KF	PVC	KF	Al	246	2869	1,18	79,5	30140	24,6	156	8,18
KF	PVC	Al	PVC	258	3036	1,61	83,7	28848	25,1	185	7,97
KF	PVC	Al	CE	251	2941	1,47	81,3	29579	24,8	169	8,09
KF	PVC	Al	KF	252	2955	1,49	81,6	29468	24,9	171	8,08
KF	PVC	Al	Al	239	2770	1,24	77,2	30931	24,3	141	8,30
KF	CE	PVC	PVC	263	3101	1,72	85,3	28354	25,3	196	7,89
KF	CE	PVC	CE	256	3005	1,58	82,9	29086	25,0	179	8,01
KF	CE	PVC	KF	257	3020	1,60	83,2	28974	25,1	183	7,99
KF	CE	PVC	Al	243	2831	1,34	78,7	30437	24,5	150	8,23
KF	CE	CE	PVC	259	3049	1,75	84,0	28750	25,2	187	7,97
KF	CE	CE	CE	252	2954	1,61	81,6	29481	24,9	171	8,08
KF	CE	CE	KF	253	2968	1,63	82,0	29370	24,9	173	8,06
KF	CE	CE	Al	240	2782	1,37	77,5	30833	24,3	142	8,29
KF	CE	KF	PVC	259	3057	1,74	84,2	28689	25,2	189	7,95
KF	CE	KF	CE	252	2961	1,60	81,8	29421	24,9	172	8,07
KF	CE	KF	KF	253	2976	1,62	82,1	29310	24,9	175	8,05
KF	CE	KF	Al	240	2789	1,36	77,7	30772	24,4	144	8,28
KF	CE	Al	PVC	252	2954	1,79	81,6	29480	24,9	171	8,08
KF	CE	Al	CE	245	2860	1,65	79,3	30212	24,6	155	8,19
KF	CE	Al	KF	246	2874	1,67	79,7	30100	24,6	157	8,17
KF	CE	Al	Al	233	2692	1,41	75,4	31563	24,1	128	8,40

KF	KF	PVC	PVC	264	3114	1,69	85,7	28258	25,4	198	7,88
KF	KF	PVC	CE	257	3018	1,55	83,2	28989	25,1	182	8,01
KF	KF	PVC	KF	258	3032	1,58	83,6	28878	25,1	184	7,98
KF	KF	PVC	Al	244	2844	1,31	78,9	30341	24,5	153	8,21
KF	KF	CE	PVC	260	3062	1,72	84,3	28653	25,2	190	7,95
KF	KF	CE	CE	253	2966	1,58	81,9	29385	24,9	172	8,06
KF	KF	CE	KF	254	2980	1,60	82,2	29273	25,0	176	8,05
KF	KF	CE	Al	240	2794	1,34	77,8	30736	24,4	144	8,27
KF	KF	KF	PVC	260	3070	1,71	84,5	28593	25,2	190	7,93
KF	KF	KF	CE	253	2974	1,58	82,1	29325	24,9	174	8,05
KF	KF	KF	KF	254	2988	1,60	82,5	29213	25,0	177	8,03
KF	KF	KF	Al	241	2801	1,34	77,9	30676	24,4	145	8,27
KF	KF	Al	PVC	253	2966	1,76	81,9	29384	24,9	173	8,06
KF	KF	Al	CE	246	2872	1,62	79,6	30115	24,6	157	8,18
KF	KF	Al	KF	247	2886	1,64	80,0	30004	24,7	159	8,16
KF	KF	Al	Al	234	2704	1,39	75,7	31467	24,1	129	8,40
KF	Al	PVC	PVC	251	2948	2,05	81,5	29523	24,9	170	8,09
KF	Al	PVC	CE	245	2854	1,91	79,2	30255	24,6	154	8,20
KF	Al	PVC	KF	246	2868	1,93	79,5	30143	24,6	156	8,19
KF	Al	PVC	Al	233	2687	1,66	75,3	31606	24,1	126	8,41
KF	Al	CE	PVC	248	2897	2,07	80,2	29919	24,7	162	8,14
KF	Al	CE	CE	241	2804	1,93	78,0	30650	24,4	146	8,27
KF	Al	CE	KF	242	2819	1,95	78,4	30539	24,5	148	8,24
KF	Al	CE	Al	230	2639	1,68	74,2	32002	23,9	119	8,46
KF	Al	KF	PVC	248	2905	2,07	80,4	29858	24,7	162	8,14
KF	Al	KF	CE	242	2812	1,92	78,2	30590	24,4	147	8,25
KF	Al	KF	KF	243	2826	1,94	78,5	30479	24,5	149	8,23
KF	Al	KF	Al	230	2646	1,68	74,4	31941	23,9	120	8,46
KF	Al	Al	PVC	241	2805	2,10	78,0	30649	24,4	146	8,26
KF	Al	Al	CE	235	2714	1,96	75,9	31381	24,1	131	8,37
KF	Al	Al	KF	236	2728	1,98	76,2	31269	24,1	134	8,36
KF	Al	Al	Al	224	2553	1,72	72,3	32732	23,6	106	29,9

Çizelge A4. Burun konisi alüminyum ve gövde kısımları farklı malzemelerden olan model roketin performansı (The performance of the model rocket with the nose cone of aluminum and the body parts of different materials)

Burun konisi	1.	2.	3.	Maks hız (m/s)	Maksirtifa (m)	Denge (cal)	Maks ivmel eme (m/s ²)	Motor dahil ağırlık (g)	Maksirtifa ulaş süresi (s)	Uçuş süresi (s)	Yere iniş hızı (m/s)
Al	PVC	PVC	PVC	263	3109	1,80	85,5	28296	25,3	197	7,88
Al	PVC	PVC	CE	256	3013	1,65	83,1	29027	25,1	181	8,00
Al	PVC	PVC	KF	257	3027	1,67	83,4	28916	25,1	183	7,99
Al	PVC	PVC	Al	244	2839	1,41	78,8	30379	24,5	152	8,22
Al	PVC	CE	PVC	259	3057	1,82	84,2	28691	25,2	189	7,95
Al	PVC	CE	CE	252	2961	1,68	81,8	29422	24,9	171	8,07
Al	PVC	CE	KF	253	2976	1,70	82,1	29311	24,9	175	8,05
Al	PVC	CE	Al	240	2789	1,43	77,7	30774	24,4	144	8,28
Al	PVC	KF	PVC	260	3065	1,81	84,4	28631	25,2	189	7,94
Al	PVC	KF	CE	253	2969	1,67	82,0	29362	24,9	173	8,06
Al	PVC	KF	KF	254	2983	1,69	82,3	29251	25,0	175	8,04
Al	PVC	KF	Al	241	2797	1,43	77,8	30714	24,4	144	8,27
Al	PVC	Al	PVC	252	2961	1,86	81,8	29422	24,9	171	8,07
Al	PVC	Al	CE	246	2867	1,72	79,5	30153	24,6	156	8,18
Al	PVC	Al	KF	247	2881	1,74	79,8	30042	24,7	159	8,17
Al	PVC	Al	Al	234	2699	1,48	75,6	31505	24,1	129	8,40
Al	CE	PVC	PVC	257	3025	1,97	83,4	28928	25,1	182	7,99
Al	CE	PVC	CE	250	2930	1,83	81,0	29660	24,8	167	8,10
Al	CE	PVC	KF	251	2945	1,85	81,4	29548	24,9	169	8,09
Al	CE	PVC	Al	238	2760	1,58	77,0	31011	24,3	138	8,32
Al	CE	CE	PVC	253	2974	1,99	82,1	29324	24,9	175	8,05
Al	CE	CE	CE	247	2880	1,85	79,8	30055	24,6	159	8,17

Al	CE	CE	KF	248	2894	1,87	80,2	29944	24,7	161	8,15
Al	CE	CE	Al	235	2711	1,61	75,8	31407	24,1	131	8,38
Al	CE	KF	PVC	254	2982	1,99	82,3	29263	25,0	175	8,04
Al	CE	KF	CE	247	2887	1,85	80,0	29995	24,7	159	8,15
Al	CE	KF	KF	248	2902	1,87	80,3	29884	24,7	161	8,14
Al	CE	KF	Al	235	2718	1,60	76,0	31346	24,1	131	8,37
Al	CE	Al	PVC	247	2880	2,03	79,8	30054	24,7	159	8,17
Al	CE	Al	CE	240	2788	1,89	77,6	30786	24,3	143	8,28
Al	CE	Al	KF	241	2801	1,91	78,0	30674	24,4	146	8,26
Al	CE	Al	Al	229	2623	1,65	73,9	32137	23,8	117	8,49
Al	KF	PVC	PVC	258	3038	1,95	83,7	28832	25,1	186	7,97
Al	KF	PVC	CE	251	2943	1,80	81,3	29563	24,8	168	8,09
Al	KF	PVC	KF	252	2957	1,83	81,7	29452	24,9	172	8,07
Al	KF	PVC	Al	239	2771	1,56	77,2	30915	24,3	141	8,30
Al	KF	CE	PVC	254	2986	1,97	82,4	29227	25,0	176	8,03
Al	KF	CE	CE	247	2892	1,82	80,1	29959	24,7	161	8,16
Al	KF	CE	KF	248	2906	1,85	80,4	29847	24,7	162	8,14
Al	KF	CE	Al	236	2723	1,58	76,1	31310	24,1	132	8,36
Al	KF	KF	PVC	255	2994	1,96	82,6	29167	25,0	178	8,03
Al	KF	KF	CE	248	2900	1,82	80,3	29899	24,7	162	8,14
Al	KF	KF	KF	249	2914	1,84	80,6	29787	24,8	164	8,13
Al	KF	KF	Al	236	2730	1,58	76,3	31250	24,2	134	8,36
Al	KF	Al	PVC	247	2892	2,00	80,1	29958	24,7	161	8,15
Al	KF	Al	CE	241	2800	1,86	77,9	30689	24,4	145	8,26
Al	KF	Al	KF	242	2814	1,88	78,2	30578	24,4	147	8,25
Al	KF	Al	Al	230	2634	1,62	74,1	32041	23,9	118	8,48
Al	Al	PVC	PVC	246	2874	2,29	79,7	30097	24,6	158	8,18
Al	Al	PVC	CE	240	2782	2,14	77,5	30829	24,3	142	8,29
Al	Al	PVC	KF	241	2796	2,16	77,8	30717	24,4	144	8,28
Al	Al	PVC	Al	228	2618	1,89	73,7	32180	23,8	116	8,50
Al	Al	CE	PVC	243	2824	2,30	78,5	30493	24,5	149	8,24
Al	Al	CE	CE	236	2733	2,16	76,4	31224	24,2	133	8,35
Al	Al	CE	KF	237	2747	2,18	76,7	31113	24,2	137	8,34
Al	Al	CE	Al	225	2571	1,91	72,7	32576	23,7	108	8,51
Al	Al	KF	PVC	243	2832	2,30	78,7	30432	24,5	150	8,22
Al	Al	KF	CE	237	2741	2,15	76,5	31164	24,2	135	8,34
Al	Al	KF	KF	238	2755	2,18	76,9	31053	24,2	137	8,33
Al	Al	KF	Al	226	2578	1,90	72,9	32515	23,7	110	8,55
Al	Al	Al	PVC	236	2733	2,33	76,4	31223	24,2	133	8,35
Al	Al	Al	CE	230	2645	2,18	74,3	31955	23,9	119	8,46
Al	Al	Al	KF	231	2658	2,20	74,6	31843	24,0	122	8,45
Al	Al	Al	Al	220	2487	1,94	70,8	33306	23,3	103	30,2