



**TAŞITLARDA KULLANILAN DEBRİYAJ SİSTEMLERİNİN
TERMO-MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

Tolga ÇAKMAK



T.C.
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TAŞITLARDA KULLANILAN DEBRİYAJ SİSTEMLERİNİN
TERMO-MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

Tolga ÇAKMAK

Prof. Dr. Muhsin KILIÇ
(Danışman)

DOKTORA TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2018

TEZ ONAYI

Tolga ÇAKMAK tarafından hazırlanan “Taşıtlarda Kullanılan Debriyaj Sistemlerinin Termo-mekanik Özelliklerinin İyileştirilmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Muhsin KILIÇ

Başkan: Prof. Dr. Muhsin KILIÇ
Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye: Prof. Dr. Duran ALTIPARMAK
Gazi Üniversitesi
Teknoloji Fakültesi
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye: Prof. Dr. Mesut GÜR
İstanbul Teknik Üniversitesi
Makine Fakültesi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye: Prof. Dr. Ömer KAYNAKLI
Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye: Doç. Dr. Gökhan SEVİLGEN
Uludağ Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Ali BAYRAM
Enstitü Müdürü
10/15/2018

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

10 / 05 / 2018

Tolga ÇAKMAK

ÖZET

Doktora Tezi

TAŞITLARDA KULLANILAN DEBRİYAJ SİSTEMLERİNİN TERMO-MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Tolga ÇAKMAK

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Muhsin KILIÇ

Bu çalışmada, ağır vasıta araçlardaki kuru kavramalı debriyaj sistemlerinin termal ve mekanik şartlar altında sergilediği performans özelliklerinin iyileştirilmesine yer verilmiştir. Uygulama olarak yüksek tonajdaki kamyon ve otobüs grubunda kullanılan 430 mm çapındaki ürün değerlendirilmiştir. Çalışmada eğimli yolda, tekrarlı ardışık duruş kalkış için araç testleri ve bu testlerin simülasyonları üzerinde analizler yapılmıştır. Debriyajın termo-mekanik özelliklerinde iyileştirme için ısı kapasitesi en yüksek ürün olan döküm baskı plakasına yoğunlaşmış, bu parçada yapılan iyileştirmelerin sistem performansı üzerine etkisi incelenmiştir.

Bu çalışmada özgün olarak incelenen konulardan biri, debriyaj döküm baskı plaka yüzeyi ile hava arasındaki ısı taşınım katsayısının, deneysel olarak ölçülmesiyle elde edilen veriler doğrultusunda dönme hızı ve geometrik özelliklere bağlı bir fonksiyon olarak tanımlanmasıdır. Böylece henüz tasarım aşamasında bir öngöründe bulunulması hedeflenmiştir. Diğer özgün kısım eğimli yolda çok fazla sayıda duruş kalkış içeren araç testi için açığa çıkan enerji ve kaçırma süresi verilerinin sunulmasıdır. Araç testleri süresince debriyaj muhafazası sıcaklık artışının, bir boyutlu sistem, üç boyutlu sonlu elemanlar ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri ile benzetimi yapılmıştır. Benzetimler sayesinde debriyaj baskı plakası sürtünme yüzeyi sıcaklığı ve sistemin dayanabileceği toplam çevrim sayısı için öngöründe bulunulmuştur.

Tezin asıl konusu olan termo-mekanik iyileştirmede, tasarım ve malzeme olarak iki konu ele alınmıştır. Tasarımda, daha önce debriyaj baskı plakasına uygulanmamış havalandırma kanallarının taşınım ile ısı transferine olumlu etkisi irdelenmiştir. Malzemede ise kimyasal kompozisyondaki değişiklik ile iletimle ısı transferinde gerçekleşen iyileşme gösterilmiştir. Geleneksel ürüne kıyasla %28 daha hafif olan havalandırma kanallı prototipin, mekanik ve termal performansı, mevcut ürün ile karşılaştırılmıştır. Parçaların soğuma hızı, ardışık kavramalar sonrası sürtünme yüzeyindeki termal çatlak direnci ve yüksek dönme hızlarındaki mekanik patlama performansı, tezgah testleri ile araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Debriyaj, kavrama süresi, açığa çıkan enerji, gri dökme demir

2018, IX + 84 sayfa.

ABSTRACT

PhD Thesis

IMPROVEMENT OF THERMO-MECHANICAL PROPERTIES OF THE CLUTCH SYSTEMS USED IN THE VEHICLES

Tolga ÇAKMAK

Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Muhsin KILIÇ

In this study, improvement of the performance characteristics of dry clutch systems in heavy duty vehicles under thermal and mechanical conditions is investigated. As an application, 430 mm diameter product used in high tonnage truck and bus vehicles was evaluated. In the study, vehicle tests for repeated successive stop and take offs on the slope road and simulations of these tests were analyzed. For the thermo mechanical properties improvement of the dry clutch, pressure plate that has the most thermal absorption capacity, has been focused and the effect of improvements made on this component on the system performance has been evaluated.

In this study, one of the points examined originally is the determination of the convection heat transfer coefficient between clutch casting pressure plate surface and air as a function of rotational speed and geometrical properties on the basis of experimental data. Thus, having estimation during design phase was targeted. Another original section is the presentation of energy dissipation and slippage duration results for the vehicle test that includes many repetitive take offs on a slope road. Temperature rise of the clutch housing air during the vehicle tests was simulated with 1D system, 3D finite element and computational fluid dynamics analyses. Simulations enabled to estimate the friction surface temperature and the number of cycles that clutch system could withstand.

The main theme of the thesis; thermo-mechanical improvement has been evaluated within two aspects; design and material. In the design, the positive effect on the convection heat transfer by the ventilation channels, which had not been applied to the clutch pressure plate previously, was investigated. In the material, the improvement in conductive heat transfer was demonstrated by the change in chemical composition. The mechanical and thermal performance of the 28% lightweight prototype has been compared with the existing product. The cooling rate of the parts, the thermal crack resistance on the friction surface after consecutive engagements, and the mechanical burst performance at high rotational speeds have been investigated with the bench tests.

Keywords: Clutch, engagement duration, energy dissipation, gray cast iron.

2018, IX + 84 pages.

ÖNSÖZ

Ülkelerin rekabet edebilirliğini arttırmak, insan kaynağının niteliğini yükseltmekten ve araştırma altyapısını geliştirmekten geçmektedir. Böylelikle katma değeri yüksek ve ileri teknoloji ürünleri geliştirip üreten bir toplum haline gelinebilecektir. Bu hedefler kapsamında, özel sektörde kurulan Ar-Ge merkezlerinin, bilimsel esaslar çerçevesinde proje gerçekleştirmek isteyen araştırmacılar için büyük bir fırsat olduğu kanısındayım. Dolayısıyla öncelikle, ülkemizde Ar-Ge merkezlerinin uygulanmasında, emeği geçen herkese çok teşekkür ederim.

Bu tez çalışması, “Taşıtlarda Kullanılan Debriyaj Sistemlerinin Termo-Mekanik Özelliklerinin İyileştirilmesi” konu başlığı ile Uludağ Üniversitesi ve Valeo Otomotiv Endüstrisi A.Ş. Bursa fabrikası ortaklığıyla yürütülen, başvuru döneminde Sanayi Bakanlığı bünyesinde olup, sonraki dönemlerde TÜBİTAK’a devredilen, TÜBİTAK 112D082 kodlu San-Tez projesi (0878.STZ.2015) kapsamında gerçekleştirilmiştir. Üniversite-Sanayi İşbirliğinin kurumsallaştırılması ve yapılan bilimsel çalışmanın ticarileştirilerek, ülkemizin uluslararası pazarlardaki rekabet gücünün artırılmasına katkı sağlayacak yeni ürün geliştirilmesine vesile olan çalışmanın desteklenmesi sebebiyle Sanayi Bakanlığı’na ve TÜBİTAK’a teşekkürlerimi sunuyorum.

Hem sosyal hem de teknik alanda, kendimi geliştirme fırsatı bulduğum bu süreçte, bilimsel bakış açımı geliştirmemdeki katkısı, değerli görüşleri ve sonuç odaklı yönlendirmeleriyle danışman hocam Prof. Dr. Muhsin KILIÇ'a, hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizlerindeki destekleri ve her zaman motive edici yaklaşımıyla Doç. Dr. Gökhan SEVİLGİN'e, üretim denemeleri sürecindeki değerli destekleriyle, önemli bir aşamayı gerçekleştirmemize vesile olan Ali GÜNGÖRÜNCE beyefendiye, değerli zamanlarını bu çalışmaya ayırıp her zaman samimi bir şekilde destek olan Valeo firmasındaki tüm değerli çalışma arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunuyorum.

Hayatım boyunca desteklerini hissettiğim ve her zaman yanımda olan, canım annem Selma ve babam Cevat ÇAKMAK'a, desteğini, anlayışını ve sabrını esirgemeyerek çalışmalarımı tamamlayabilmemde bana güç veren sevgili eşim Elçin TİMUR ÇAKMAK'a ve huzur kaynağımız, biricik kızlarımız Ela ve İpek ÇAKMAK'a sonsuz teşekkürler.

Tolga ÇAKMAK

10 / 05 / 2018

İÇİNDEKİLER

Sayfa

| | |
|---|-----|
| ÖZET | i |
| ABSTRACT | ii |
| ÖNSÖZ | iii |
| SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ | v |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | vii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | ix |
| 1. GİRİŞ | 1 |
| 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI | 3 |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM | 6 |
| 3.1. Debriyaj Sistemleri | 7 |
| 3.2. Ağır Vasıta Araçlarda Verimlilik Standartları | 22 |
| 3.3. Debriyaj Sistemlerinde Tork Aktarımı ve Enerji Yayınımı | 24 |
| 3.4. Deneysel Çalışmalar | 28 |
| 3.4.1. Tezgah Testleri | 28 |
| 3.4.2. Araç Testleri | 34 |
| 3.5. Sayısal Analizler | 37 |
| 3.5.1. Bir Boyutlu Sistem Analizleri | 37 |
| 3.5.2. Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Analizleri | 39 |
| 3.5.3. Üç Boyutlu Hesaplama Akışkanlar Dinamiği Analizleri | 43 |
| 3.6. Termo-mekanik İyileştirme | 46 |
| 3.6.1. Taşınım ile Isı Transfer Artımı | 48 |
| 3.6.2. İletim ile Isı Transfer Artımı | 51 |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA | 52 |
| 4.1. Tezgah Testi ile Plaka ile Hava Arasındaki Isı Taşınım Katsayısının Tayini | 52 |
| 4.2. Eğimli Yolda Tekrarlı Araç Kalkış Testleri | 54 |
| 4.3. Araç Testleri ile Sayısal Analizlerin Karşılaştırılması | 57 |
| 4.4. İyileştirilmiş Parçanın Termo-mekanik Deneysel Doğrulaması | 64 |
| 5. SONUÇ | 75 |
| KAYNAKLAR | 79 |
| ÖZGEÇMİŞ | 83 |

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

| Simgeler | Açıklama |
|------------------|---|
| A | Taşınım ile ısı transfer yüzey alanı (m^2) |
| A_c | Plaka taşınım ile ısı transfer yüzeyi (m^2) |
| A_{ceff} | Plakanın efektif taşınım yüzey alanı (m^2) |
| A_F | Araçın ön yüzeyi (m^2) |
| A_f | Plaka ısı akısı yüzeyi (m^2) |
| c | Plakanın kompaktlığı (m^{-1}) |
| c_p | Özgül ısı (kJ/kgK) |
| C_D | Aerodinamik direnç katsayısı |
| C_R | Yuvarlanma direnç katsayısı |
| E | Enerji (kJ) |
| F | Kuvvet (N) |
| F_{aero} | Araçta etki eden aerodinamik kuvvetler (N) |
| $F_{sürüş}$ | Araç sürüş kuvveti (N) |
| $F_{yuvarlanma}$ | Yuvarlanma kuvveti (N) |
| g | Yerçekimi ivmesi (m/s^2) |
| h | Plaka yüzeyi ile hava arasındaki ısı taşınım katsayısı (W/m^2K) |
| I | Atalet ($kgmm^2$) |
| k | Isı iletim katsayısı (W/mK) |
| m | Plaka Kütlesi (kg) |
| M | Araç kütlesi (kg) |
| N | Dönme hızı (dev/dak) |
| Nu | Nusselt sayısı |
| P | Diyaframın uyguladığı baskı yükü (N) |
| q | Isı akısı (W/m^2) |
| q_h | Plaka sürtünme yüzeyindeki ısı akısı (W/m^2) |
| Q | Güç (W) |
| Q_c | Taşınım ile ısı transferi (W) |
| R | Transmisyon verimi |
| Re | Reynolds sayısı |
| R_m | Ortalama sürtünme yarıçapı (mm) |
| S_f | Güvenlik katsayısı |
| t | Zaman (s) |
| t_s | Kavrama süresi (s) |
| T | Sıcaklık ($^{\circ}C$) |
| T_{pi} | Plakanın başlangıç sıcaklığı ($^{\circ}C$) |
| T_{pf} | Plakanın son sıcaklığı ($^{\circ}C$) |
| T_{∞} | Ortam havası sıcaklığı ($^{\circ}C$) |
| $T_{\infty i}$ | Ortam havasının başlangıç sıcaklığı ($^{\circ}C$) |
| $T_{\infty f}$ | Ortam havasının son sıcaklığı ($^{\circ}C$) |
| v_x | Araç hızı (km/h) |
| V | Plakanın hacmi (m^3) |

| | |
|----------------|---|
| V_{1000} | Motor krank milinin 1000 dev/dak dönme hızına tekabül eden araç hızı (km/h) |
| α | Termal difüzyivite (mm^2/s) |
| β | Yol eğimi (%) |
| ρ | Yoğunluk (kg/m^3) |
| Γ_M | Motor torku (Nm) |
| Γ_V | Araç torku (Nm) |
| Γ_c | Debriyaj torku (Nm) |
| \ddot{x} | Eksenel ivmelenme (m/s^2) |
| ω | Açısal hız (rad/s) |
| ω_r | Açısal hız farkı (rad/s) |
| $\dot{\omega}$ | Açısal ivmelenme (rad/s^2) |
| ν | Kinematik viskozite (m^2/s) |
| μ | Sürtünme katsayısı |
| θ | Sıcaklık farkı ($^{\circ}\text{C}$) |

Kısaltmalar

Açıklama

| | |
|-----------|---|
| <i>CE</i> | Karbon eşdeğeri |
| HAD | Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği |
| HCV | Ağır Ticari Araçlar (Heavy Commercial Vehicle) |
| LCV | Hafif Ticari Araçlar (Light Commercial Vehicle) |
| MCV | Orta Ticari Araçlar (Medium Commercial Vehicle) |
| MT | Manuel Transmisyon |
| OMT | Otomatikleştirilmiş Manuel Transmisyon |
| SE | Sonlu Elemanlar |
| SEA | Sonlu Elemanlar Analizleri |

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

| | |
|---|----|
| Şekil 3.1. Sayısal analizlerin korelasyonu için izlenen yöntembilim..... | 6 |
| Şekil 3.2. Tek kademeli kuru tip debriyaj sistemi..... | 7 |
| Şekil 3.3. Çeliklerin mukavemet kıyaslaması..... | 10 |
| Şekil 3.4. Debriyaj kapağına şekil verme aşamaları..... | 10 |
| Şekil 3.5. Debriyaj diyafram yayı..... | 11 |
| Şekil 3.6. Debriyaj diyafram yayının ısıl işlem adımları..... | 11 |
| Şekil 3.7. Debriyaj metalik disk yayı..... | 12 |
| Şekil 3.8. Debriyaj metalik disk yayının ısıl işlem adımları..... | 12 |
| Şekil 3.9. Kum kalıba döküm kesiti..... | 14 |
| Şekil 3.10. Döküm işlem akış şeması..... | 14 |
| Şekil 3.11. Debriyaj döküm plakası..... | 15 |
| Şekil 3.12. Debriyaj sisteminin araçta montajı..... | 16 |
| Şekil 3.13. Debriyaj sisteminin farklı koşullardaki tork iletimi..... | 16 |
| Şekil 3.14. Araçlardaki transmisyon sistemleri..... | 17 |
| Şekil 3.15. Harici ve iç hidrolik kontrol üniteleri..... | 18 |
| Şekil 3.16. Baskı kompleksi..... | 19 |
| Şekil 3.17. Diyafram yükü..... | 19 |
| Şekil 3.18. Rulman yükü..... | 20 |
| Şekil 3.19. Disk kompleksi..... | 20 |
| Şekil 3.20. Disk kompleksi temsili karakteristiği..... | 21 |
| Şekil 3.21. Ticari araçların hizmet alanına göre CO ₂ emisyon oranları..... | 23 |
| Şekil 3.22. Ağır vasıta ticari araçların toplam işletme maliyet analizi..... | 23 |
| Şekil 3.23. 2026 yılında alternatif aktarma organı payları öngörüsü..... | 24 |
| Şekil 3.24. Farklı balata malzemeleri için sürtünme katsayısının sıcaklıkla değişimi..... | 25 |
| Şekil 3.25. Debriyaj tork hesabında baskı yükü ve balata çapları..... | 25 |
| Şekil 3.26. Debriyaj operasyonunun işleyişi..... | 27 |
| Şekil 3.27. Tezgah testi deney düzeneği şeması..... | 29 |
| Şekil 3.28. Plaka sıcaklık sensörünün konumu..... | 29 |
| Şekil 3.29. Tezgah test düzeneği (ısı taşınım katsayısı tayini)..... | 30 |
| Şekil 3.30. Soğuma aşamasında sıcaklık düşümü..... | 30 |
| Şekil 3.31. Tezgah test düzeneği (patlama testi)..... | 32 |
| Şekil 3.32. Debriyaj enerji testi - 1 çevrim örnek verisi..... | 33 |
| Şekil 3.33. Araca etki eden kuvvetler..... | 34 |
| Şekil 3.34. Araç testi sensör ekipmanı..... | 35 |
| Şekil 3.35. Kavrama esnasındaki örnek debriyaj torku ve dönme hızları..... | 36 |
| Şekil 3.36. Bir boyutlu modelin şematik gösterimi..... | 38 |
| Şekil 3.37. Üç boyutlu analizlerdeki sınır şartları..... | 41 |
| Şekil 3.38. Üç boyutlu analizlerdeki ağ yapısı..... | 41 |
| Şekil 3.39. Debriyaj plakasının ısıl iletkenliği ve özgül ısısı (Malzeme GJL300)..... | 42 |

| | |
|---|----|
| Şekil 3.40. Katı-Akışkan birleşik HAD modeli | 43 |
| Şekil 3.41. Katı-Akışkan birleşik HAD modelinin ağ yapısı..... | 44 |
| Şekil 3.42. Katı-Akışkan birleşik HAD modelinin ağ yapısı..... | 45 |
| Şekil 3.43. Geleneksel ve havalandırma kanallı plaka..... | 48 |
| Şekil 3.44. Harcanan model yöntemi | 49 |
| Şekil 3.45. Maçalı model döküm yöntemi | 50 |
| Şekil 3.46. Araçlarda 100 kg kütle düşümünün CO ₂ emisyon düşümüne etkisi..... | 50 |
| Şekil 4.1. Baskı plakası efektif taşınım yüzey tanımı | 52 |
| Şekil 4.2. Ø430 çap plakaların ısı taşınım katsayısı ölçümleri | 53 |
| Şekil 4.3. Araç testlerinde kavrama süresi ve açığa çıkan enerji dağılımı..... | 56 |
| Şekil 4.4. Araç testlerinde kavrama süresi aralığı başına açığa çıkan ortalama enerji ... | 56 |
| Şekil 4.5. Araç testlerinde kavrama süresi aralığının tüm çevrimlere oranı | 57 |
| Şekil 4.6. Debriyaj muhafazası hava sıcaklığı değişimi | 58 |
| Şekil 4.7. Debriyaj baskı plakası sıcaklık değişimi | 60 |
| Şekil 4.8. Araç testlerinde plaka sürtünme yüzeyi ve debriyaj muhafazası içerisindeki havanın sıcaklık değişimi | 61 |
| Şekil 4.9. Araç testlerinde plaka sürtünme yüzeyi ve debriyaj muhafazası içerisindeki havanın sıcaklık zirve değerlerinin çevrime göre farkı | 62 |
| Şekil 4.10. Plakadaki 20. çevrim (1200 s) sonundaki sıcaklık dağılımı | 62 |
| Şekil 4.11. Başlangıçtaki ağ yapısı ve 1.5 kez eleman sayısının artımı arasındaki araç testi 3'ün ilk 20 çevrimdeki maksimum sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması | 63 |
| Şekil 4.12. İlk altı çevrim için plakanın sürtünme yüzeyi sıcaklık değişiminin HAD ve yapısal sonlu elemanlar analizleri ile karşılaştırılması | 64 |
| Şekil 4.13. Plakaların farklı hızlardaki soğuma performansının karşılaştırması | 65 |
| Şekil 4.14. Havalandırmalı plakanın farklı hızlardaki soğuma performansı | 66 |
| Şekil 4.15. Enerji testi sonrası sürtünme yüzeyindeki termal çatlaklar | 67 |
| Şekil 4.16. Patlama testi sonrası görseller (Termal test sonrası)..... | 69 |
| Şekil 4.17. Patlama testi – Havalandırmalı B | 69 |
| Şekil 4.18. Termal difüzyivite ölçüm prensibi..... | 70 |
| Şekil 4.19. Mikroyapıdaki grafit pullarının optik görüntüleri (x100)..... | 70 |
| Şekil 4.20. Gri dökme demirdeki grafit pullarının tipleri | 71 |
| Şekil 4.21. Termal Difüzyivite ve çekme mukavemetinin ortalama grafit boyu ile değişimi..... | 73 |
| Şekil 4.22. Termal difüzyivitenin sıcaklıkla değişimi | 73 |
| Şekil 4.23. Termal difüzyivite ve sertliğin karbon eşdeğeri ile değişimi..... | 74 |
| Şekil 5.1. Plaka gövdesine alüminyum köpük uygulaması..... | 78 |
| Şekil 5.2. Havalandırma kanallarının güç aktarma sisteminin diğer döküm parçalarına uyarlanması | 78 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

| | |
|--|----|
| Çizelge 3.1. Bazı debriyaj metal parçalarının malzeme ve proses bilgisi..... | 9 |
| Çizelge 3.2. Ticari araçların sınıflandırılması..... | 22 |
| Çizelge 3.3. Ticari araçların sera gazı emsiyonları standartlarının öngörüsü | 23 |
| Çizelge 3.4. Bir boyutlu analizlerdeki girdiler..... | 39 |
| Çizelge 3.5. Üç boyutlu analizlerdeki girdiler | 40 |
| Çizelge 3.6. HAD analizlerindeki malzeme tanımı | 44 |
| Çizelge 3.7. Geleneksel ve havalandırma kanallı plaka özellikleri | 49 |
| Çizelge 3.8. Geleneksel ve havalandırılmalı ürün kimyasal kompozisyonları, %..... | 51 |
| Çizelge 4.1. Plakaların fiziksel özellikleri | 52 |
| Çizelge 4.2. Araç testi bilgileri | 55 |
| Çizelge 4.3. Araç testlerinde kavrama süresi ve açığa çıkan enerji..... | 55 |
| Çizelge 4.4. Üç boyutlu sonlu elemanlar analizlerinin girdi verileri..... | 59 |
| Çizelge 4.5. Prototiplerin çekme mukavemeti ve sertlik değerleri | 64 |
| Çizelge 4.6. Termal çatlak direnci tezgah testinde uygulanan enerji seviyeleri ve kaçırma süreleri..... | 66 |
| Çizelge 4.7. Tezgah testi sonrası plaka sürtünme yüzeyindeki termal çatlak sayısı..... | 68 |
| Çizelge 4.8. Patlama hızları (Termal test sonrası) | 68 |

1. GİRİŞ

İçten yanmalı motorlar sadece belirli bir hız aralığında verimli çıktı sunarlar. Farklı kullanım şartlarında bu aralıktan faydalanmak için araçlarda bir güç aktarma sistemi; transmisyon gereklidir. Debriyajlar diğer bir deyişle kavramalar, içten yanmalı motordan aldıkları torku tamamıyla dişli kutusuna aktarmakla görevli bağlantı elemanlarıdır. Kuru tip kavramalar manuel transmisyon içeren tüm araçlarda kullanılmaktadır. Tarihçesi 20. yüzyılın başlarına dayanan tek kademeli kuru kavramaların avantajı disk kompleksinin düşük ataleti sayesinde vites değişiminin debriyaj pedalına basıldığı zaman kolaylıkla yapılabilmesidir. Tork aktarımı için gerekli yük başlangıçta birçok helisel yay ile sağlanırken, 1960'lardan itibaren günümüze kadar diyafram diye adlandırılan dairesel yay ile sağlanmaktadır. Bu değişim beraberinde daha basit bir mekanik yapı, sabit baskı yükleri, daha küçük hacimde kısmen daha yüksek yüklerin elde edilmesi gibi avantajlar sağlamıştır. Zamanla motor hızındaki artış bu değişimi kaçınılmaz kılmıştır. Bu gelişmelere paralel disk kompleksi tasarımı da optimize edilmiştir. İçten yanmalı motorun sürekli değişken hızı ve ürettiği torkun dalgalanması krank milinden, debriyaja ve oradan da dişli kutusuna iletilen titreşimlere sebep olmaktadır. Bunun neticesinde diş profilinde aşınmalar ve ses sorunu ortaya çıkmaktadır. Modern araçlardaki düşük volan kütlesi ve daha hafif yapı bu etkiyi yükseltmektedir. Bu sebeplerden ötürü disk kompleleri torsiyonel ve eksenel sönümleyici elemanlar ile donatılmıştır. Torsiyonel sönümleme günümüzde helisel yaylar ile sağlanırken, eksenel sönümleme ise formlu metal yastıklama elemanları ile sağlanır. Debriyaj ile pedal arasındaki aksam 1930'larda kablolar ile sağlanırken 50'lerden itibaren hidrolik üniteler kullanılmaya başlanmıştır.

Bu tez kapsamında, manuel araçlarda kullanılan, kuru tip kavramaların (debriyajların) maruz kaldığı termo-mekanik yüklemeler altında performansını iyileştirmeye yönelik sayısal ve deneysel veriler sunulmuştur. İyileştirmeler yapılırken, karbondioksit salınım yönetmeliklerindeki eğilim gözetilerek, aynı zamanda kütle hafifletme hedeflenmiştir. Yapılan iyileştirmeler neticesinde termal çatlak dayanım performansı iyileştirilmiş ve mekanik patlama test kriterini sağlayan %28 daha hafif bir ürün elde edilmiştir.

Başlıca dünya çapındaki debriyaj üreticileri Valeo, Luk, Sachs ve Exedy firmalarıdır. Bu tez Uludağ Üniversitesi ve Valeo Otomotiv Endüstrisi A.Ş. Bursa fabrikası test ve simülasyon altyapı imkanları kullanılarak, TÜBİTAK 112D082 kodlu San-Tez projesi (0878.STZ.2015) kapsamında gerçekleştirilmiştir.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Debriyajlar, manuel şanzıman araçlarında araç çalıştırma ve vites değişimi sırasında, aktarma organının sürüş konforunda önemli bir rol oynamaktadır (Dolcini ve ark. 2010). Debriyaj sistemleri üzerine literatürde birçok yayın mevcuttur. Ama çok azı termal yüklemeler altında çalışma durumunu incelemiştir. Termal yüklemeler iki durum için değerlendirilebilir. Birincisi sürekli kaçırma durumu; debriyaj pedalına normalden daha uzun süre tam kurs verilmeden (yarım debriyaj) basılması veya eğimli/engebeli arazide, aşırı yük altında kullanım sebebiyle, ikincisi ise yoğun trafik gibi şartlarda sürekli duruş kalkış operasyonundan kaynaklanan, tekrarlı ve ardışık kavramalar durumudur. Debriyaj üreticileri, bu her iki durum için de ürünlerinin tasarım ve prototip aşamasında sayısal analizler ve tezgah testleri ile doğrulamasını yaparlar. Sürekli tekrarlı ve ardışık kavrama durumu için prototip doğrulaması araç testleri ile yapılmaktadır. Benzer termal yüklemeler fren diskleri için de araştırılmıştır ve literatürde bu ürün için debriyaja kıyasla daha fazla yayın mevcuttur. Termal açıdan fren diskleri ile karşılaştırıldığında temel fark, debriyaj kompleksinin kapalı bir muhafaza içerisinde çalışması ve direkt dış ortam havası ile temas etmemesidir.

Mevcut tez çalışması, ağır ticari vasıtalarda kullanılan Ø430 çap debriyaj sistemleri için yürütülmüştür. Bu boyut için literatürde birkaç çalışma mevcuttur. (Coelho ve Rabelo 2011) plaka kütle artışı ile sıcaklık artışının bir miktar engellenebileceğini deneysel olarak çalışmıştır. Yine aynı çap için yapılan bir başka çalışmada, ısı taşınım katsayısı ampirik bir ifade ile tanımlanmış ve debriyaj plakası kütle düşümü ile termal performansın arttırılabileceği sayısal olarak öngörülmüştür (Fan ve Ji-ping 2011). Ø430 çap debriyaj üzerine yapılan diğer araştırmalarda, kurulan bir boyutlu sayısal modelleme ile sürtünme parçalarında sıcaklık artışı ve araç parametrelerinin bu sıcaklık üzerine etkisi de incelenmiştir (Erbaş 2015, Güneş 2015).

Literatürdeki diğer çalışmalar genellikle binek araçlarda kullanılan küçük çap debriyajlar için yapılmıştır. Bu çalışmanın deneysel tezgah testlerine ışık tutan bir doktora tez çalışmasında binek araç debriyaj plakası ile hava arasındaki ısı taşınım katsayısı, deneysel çalışmalar neticesinde açılma hızı ve debriyaj çapına bağlı bir fonksiyon olarak tanımlanmıştır (Minereau 1988). Bu çalışmadan farklı olarak, tez kapsamında yapılan deneysel çalışmada, ağır vasıta debriyaj sistemleri için plaka yüzeyi

ile hava arasındaki ısı taşınım katsayısı tasarım değişkenleri gözetilerek, açısal hız ve tasarıma bağlı (kompaktlık) bir fonksiyon olarak tanımlanmıştır.

Abdullah ve Schalttmann (2012) kuru kavramalı debriyaj sisteminin tekrarlı kavramalar durumundaki zamana bağlı termal analizini, düzgün basınç ve düzgün aşınma teorilerine dayanarak araştırma yapmışlardır. Debriyaj sisteminin sürtünmeli parçaları debriyaj plakası, balata ve volanın sıcaklık değişimi 2 boyutlu aksi simetrik model üzerinden değerlendirilmiştir.

Birçok araştırmacı debriyaj termal problemini Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) ile de incelemiştir. Wittig ve ark. (1998), geometrik varyasyonlara vurgu yaparak yüksek hızlı dönen debriyajda akışın sayısal sonuçlarını sunmuştur. Wang ve ark. (2014), baskı plakası ile hava arasındaki ısı taşınım katsayısını belirlemek için HAD'ı uygulamıştır ve kavrama plakasının gerilmesini azaltmak için yeni bir model geliştirmekte kullanılan termal yapı analizini kullanmıştır. Çalışmalarında baskı plakasının tüm taşınım yüzeyleri için birleşik taşınım ile ısı transfer katsayısı yerine, hava akış hızını etkileyen faktörler, baskı plakası yapısal özellikleri ve çevre sıcaklığı, yerel yüzeyler için dikkate alınmıştır. Levillain ve ark. (2015) yaptıkları bir araştırmada tek kademeli debriyaj sisteminin termal davranışı için debriyaj muhafazası boyutunun akış üzerine etkisini, diğer çalışmalarında ise kuru kavramalı iki kademeli debriyaj sistemi için aksel deliklerin hava akış yolu üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Önceki araştırmalardan bilindiği gibi, üç boyutlu HAD analizleri, özellikle ardışık kavramaların sayısı arttıkça, bilgisayarda büyük depolama ve oldukça uzun hesaplama süreleri gerektirmektedir, bu nedenle bir boyutlu sayısal simülasyon yöntemi ile önemli parametrelerin kısa bir hesaplama zamanında etkisini de incelemek mümkündür (Kılıç ve ark. 2016).

Debriyaj parçalarının termal performansı en zor çalışma şartlarında, kavrama süresi ve bu süre boyunca açığa çıkan enerjiye göre belirlenir (Duque ve ark. 2009). Hesaplamalarda eğimli yolda, maksimum yükteki araç gözetilir. Analizlerde farklı sürtünme modelleri ve bunların kavrama süresi ve açığa çıkan enerjiye olan etkisi de araştırılmıştır (Duque ve ark. 2012).

Tekrarlı ardışık kavramalar süresince, debriyajın sürtünmeli parçalarında sıcaklık artışı, farklı manevra senaryoları (Pisaturo ve Senatore 2016) ve torkun sabit ve değişken olması durumunun etkisi açısından (Abdullah ve Schalltmann 2014) iki boyutlu sonlu elemanlar analizleri ile irdelenmiştir. Tüm bu çalışmalar soğuma sürecindeki ısı yayılımının sürtünme parçaları üzerindeki sıcaklık artışını engellemeye yetmediğini göstermektedir.

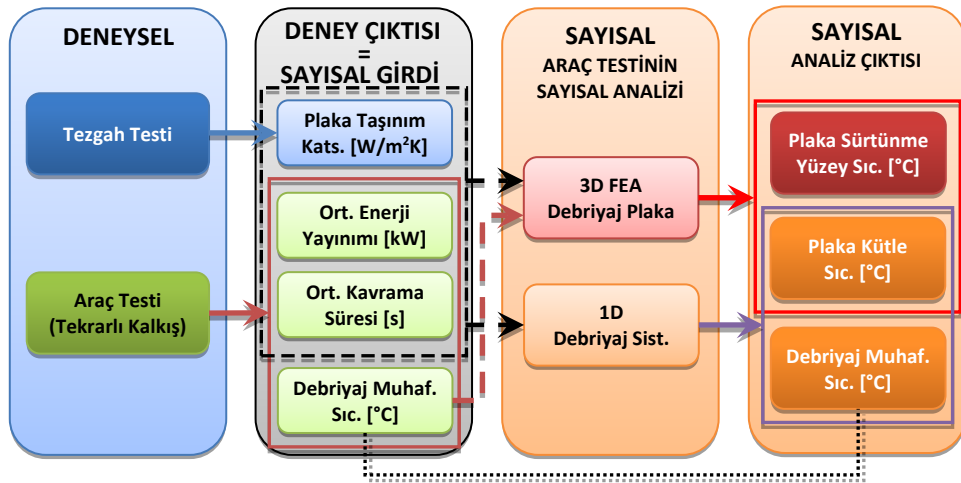
Tez Çalışmasının Literatürde Yer Alan Çalışmalardan Farkı

Bu tez kapsamındaki çalışma, literatür özetlerinde bahsedilen çalışmaların ışığında birçok açıdan özgün veriler sunmaktadır. Ağır ticari araçlarda kullanılan Ø430 çap debriyaj plakası ile hava arasındaki ısı taşınım katsayısının deneysel ölçümü, çok fazla çevrim sayısı için ağır vasıta ticari araçta açığa çıkan enerji ve kavrama sürelerinin analizi, literatürde ilk defa bu çalışma ile sunulmaktadır. Kurulan bir boyutlu sistem ve üç boyutlu sonlu elemanlar ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği analiz modellerinin deneysel araç testleri ile korelasyonuna yer verilmiş, debriyaj sistemleri için üç boyutlu HAD analizleri ilk defa bu yayında değerlendirilmiştir.

Özgün olarak ele alınan diğer bir nokta termal absorpsiyon elemanı olan debriyaj döküm plakasının termo-mekanik özelliklerin tasarım ve kimyasal kompozisyonuna bağlı olarak iyileştirilmesidir. Sayısal analizler ile doğrulanan parçanın prototip çalışmaları yapılmış ve deneysel olarak da doğrulanmıştır. Tasarlanan ürün için Türk Patent Enstitüsü'ne patent başvurusu (TPE Başvuru No : 2016/04123) yapılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Debriyaj sistemlerinin termo-mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinin hedeflendiği tez çalışmasında; öncelikle deneysel çalışmalar, sonrasında sayısal analiz modellerinin kurulması ve sayısal analizlerin deneysel çalışmalar ile korelasyonu ve takibinde korelasyonu sağlanan sayısal analizler ile yeni tasarım çalışmaları yürütülmüştür. Sayısal analizlerin korelasyonu için izlenen yöntem bilim Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Deneysel çalışmalar tezgah ve araç testi olmak üzere gerçekleştirilmiştir. Tezgah testinde debriyaj döküm plakası ile hava arasındaki ısı taşınım katsayısı ölçümü elde edilirken, araç testlerinde ise yokuşta tekrarlı ve ardışık kalkış durumu için debriyaj muhafazası sıcaklığı elde edilmiştir. Araç testlerinde ayrıca uygulanan sensör ekipmanı ile her çevrimde açığa çıkan enerji ve kavrama süreleri kayıt altına alınmıştır. Bu veriler sonraki sayısal analizlerde girdi olarak kullanılmış ve sayısal analizlerin korelasyonu için de her ikisinin de çıktısı olan debriyaj muhafazası sıcaklığı parametresi kullanılmıştır. Sonuç olarak sayısal analizler ile, deneysel çalışma ile günümüzde ölçülemeyen (veya çok yüksek maliyetler ve karmaşık telemetrik sensörler yardımı ile ölçülmesi mümkün olabilecek) sürtünme yüzey sıcaklığı elde edilmiştir. Termo-mekanik iyileştirme için tasarımdaki değişkenler ile kıyaslamalı analizler yapıp etken parametrelerin neler olduğu belirlenmiş ve bu doğrultuda iyileştirmeler yapılmıştır. Kimyasal kompozisyonda ise literatürdeki fren diskleri için gerçekleştirilen çalışmalar ışığında iyileştirmeler yapılmıştır. Nihai tasarımın prototip aşamaları gerçekleştirilmiş ve tezgah testi ile deneysel doğrulaması yapılmıştır.

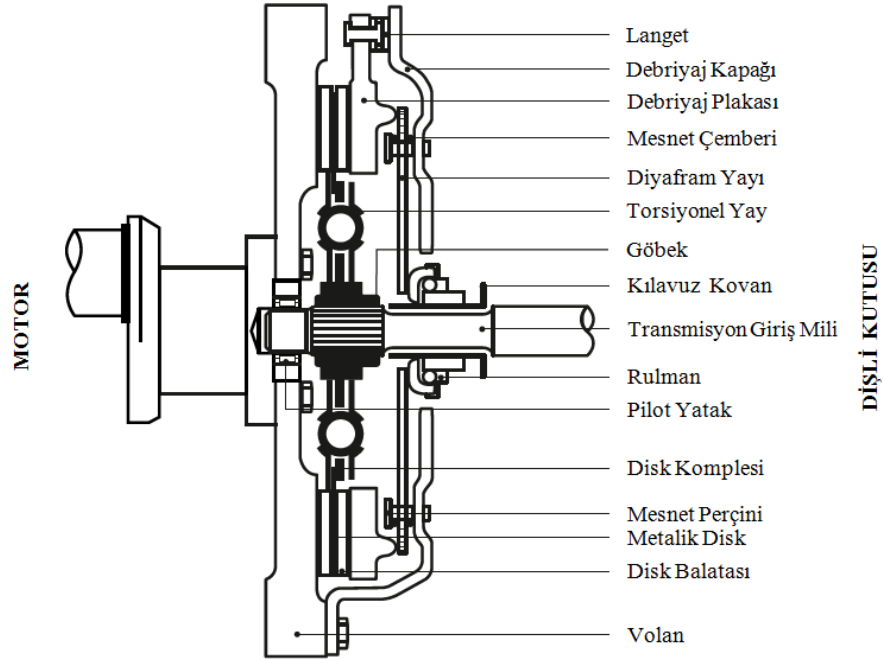


Şekil 3.1. Sayısal analizlerin korelasyonu için izlenen yöntem bilim

3.1. Debriyaj Sistemleri

Debriyaj sistemleri kuru ve ıslak olmak üzere sınıflandırılabilir. Bu tez çalışmasının da konusu olan kuru kavramalar; binek, hafif ticari ve otobüs, kamyon gibi ağır vasıta araçlarda ve mekanik transmisyonlu traktörlerde kullanılmaktadır. Günümüzde debriyaj sistemi motora genellikle kuru tek kademeli kavramalar (Şekil 3.2) ile bağlanmaktadır. İkiz plakalı kavramalar yüksek motor torkunun düşük pedal yükleri ile iletilmesi gereken durumlarda, başlıca binek spor ve ticari ağır vasıta araçlarda kullanılmaktadır. Debriyaj muhafazasındaki hava hacmi içerisinde bulunan kuru tip kavramaların aksine, ıslak tip kavramalar yağ içerisinde çalışırlar. Islak tip kavramalar; çok diskli olarak genellikle otomatik transmisyonlarda, makinelerde, özel araçlarda, motor bisikletlerde ve hidrolik transmisyonlu traktörlerde kullanılırlar.

Debriyaj sistemleri için geometrik, fonksiyonel ve performans kısıtları mevcuttur. Geometrik kısıt; içerisine monte edildiği debriyaj muhafazasının hacmidir ve gösterdiği genel eğilim motor torku artarken bu hacmin küçülmesidir. Fonksiyonel kısıt ise arzu edilen pedal yükü karakteristiği ve konforunun sağlanmasıdır. Performans kısıt ise maruz kaldığı mekanik ve termal yüklemelerde yorulma ömrünün yeterli olmasıdır.




Şekil 3.2’de görseli verilen tek kademeli kuru tip debriyaj sistemi motor çalıştırıldığında dönmeyen debriyaj muhafazası içerisine yerleştirilir. Debriyaj plakası ve kapağını içeren baskı kompleksi, her zaman motor krankı dolayısıyla volan ile birlikte hareket eder (Purohit ve ark. 2014). Sürücü debriyaj pedalına basmadıkça, disk kompleksi her zaman motor torkunu dişli kutusu tarafına iletir. Transmisyon giriş mili (prizdirek mili) disk kompleksi ile birlikte hareket eder. Debriyaj parçalarının malzeme özellikleri sıcaklığa bağlıdır (Hur ve ark. 2009). Yüksek sıcaklıkta çalışma koşullarında (Abdullah ve ark. 2014, Sfarni ve ark. 2011) balata erimesi (Akhtar ve ark. 2015) ve plaka çatlakları (Abdullah ve ark. 2015) gibi birçok problem meydana gelebilir. Bu problemler araç kütlelerinin yüksek olduğu yoğun trafik, dağ tırmanış veya römork ile sürüş gibi ağır sürüş şartlarında meydana gelebilir. Balata malzemesinin kalitesine bağlı olarak, sürtünme yüzeyinin 350-400°C sıcaklığa ulaşması kritik seviyelerdir. Oluşan ısı; sıvı ve gaz üretmek suretiyle, sürtünme malzemelerinin deformasyonuna ve parçalanmasına neden olabilir. Bu olgunun diğer bir dezavantajı; otomobil yolcularının algıladığı, debriyaj balatasındaki fenolik reçinenin termal bozunmasıyla üretilen kokusudur (Pisaturo ve Senatore 2016). Sıcaklıkla birlikte sürtünme katsayısının azalması (Chen ve ark. 2011, Zhao ve ark. 2016), zayıf tork iletimine (Thornblad 2014) ve düşük kalitede vites değiştirmeye (Vasca ve ark. 2011) sebep olmaktadır. Sıcaklığın artışı balatalar arasında bulunan metalik disk elemanın rijitliğini de etkiler, sonuç olarak da kavrama noktasında değişime sebep olur (Cappetti ve ark. 2012). Diyafram yayı yük karakteristiği sıcaklıktan etkilenmez (Pisaturo 2013). Disk balatasının oluklarının şekli (Abdullah ve Schlattmann 2012), morfolojisi (Khamlichi ve ark. 2003) ve baskı plakası sürtünme yüzeyi pürüzlülüğü (Abdullah ve ark. 2015) sıcaklık artışı miktarında rol oynayan diğer parametrelerdir.

Debriyaj sistemleri başlıca aşağıdaki görevleri yerine getirir;

- Motor torkunu tamamıyla iletmek,
- Motor ile transmisyon arasında güç kesimi ve iletimini sağlamak,
- Hızlı ve kolay vites değişimine olanak vermek,
- Aracın çalıştırılması esnasında konforu sağlamak,
- Titreşimleri ve motor düzensizliklerini sönmölemek,
- Aşırı motor tork üretimi durumunda transmisyon için koruyucu olmak.

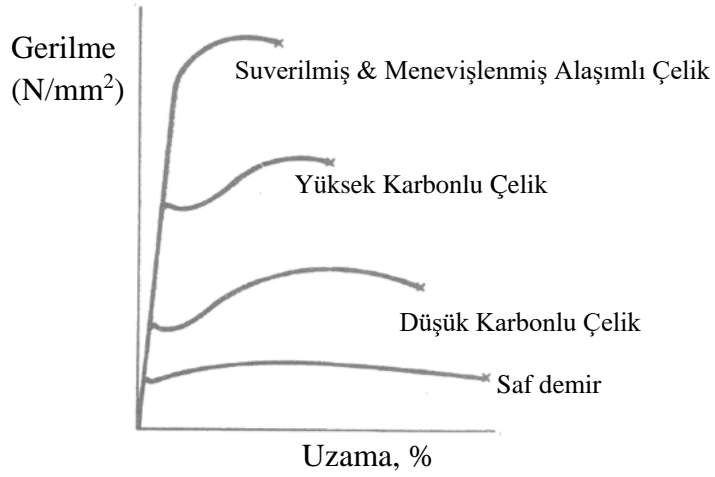
Debriyaj parçaları yukarıda bahsi geçen çalışma koşulları altında görevlerini yerine getirebilmeleri için, üretim safhasında bir takım proses işlemlerine maruz kalırlar. Debriyaj kapağı, kanat, kılavuz gibi kimi parça soğuk şekillendirme ile üretilir. Öte yandan diyafram, sıcak şekillendirme ile faz değişimine, metalik disk düz halde iken faz değişimine maruz kalmaktadır (Çizelge 3.1). Bazı debriyaj metal parçalarının üretim aşamalarında uygulanan kısmi özellikleri Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Bazı debriyaj metal parçalarının malzeme ve proses bilgisi



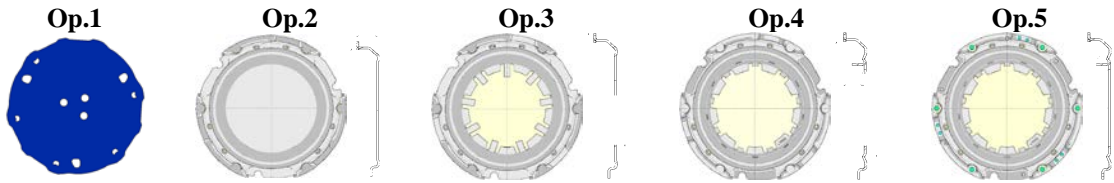
| Parça→ Özellik | Kapak | Parmak | Kılavuz | Kanat | Diyafram | Metalik Disk | Plaka |
|---------------------------|-------|--------|---------|-------|-------------|-----------------|------------------------|
| Malzeme | DD13 | | DD11 | St52 | 51CrV4 | C67 | GJL250/300 GJS500 |
| %C oranı (ham malzeme) | <0.08 | | <0.1 | <0.2 | 0.49 – 0.57 | 0.65 – 0.73 | 2.8 – 3.3 2.7 – 3.7 |
| Suverme & menevişleme | X | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | X |
| Karbo- nitürleme | X | | ✓ | ✓ | X | X | X |
| Şekil verme | Soğuk | | Soğuk | Soğuk | Sıcak | Ilık | Döküm |

Özellikle derin çekme veya karmaşık formların soğuk şekillendirme ile verildiği saç debriyaj parçaları, kolay şekillenebilmeleri veya kesilmeleri için düşük karbonlu çeliklerden üretilir (Çizelge 3.1 kapak, parmak, kılavuz, kanat). Yüke maruz kalan parçalar mukavemetlerinin artırılması için suverme ve menevişleme işlemlerine maruz kalırlar (Şekil 3.3). Özellikle ham malzemesi düşük karbonlu parçalara, metal yüzey aşınmasını azaltmak ve yüzey sertliğini artırmak için metalin yüzeyine yüksek sıcaklıkta karbon ve azot atomlarının tutturulması için karbonitrüleme işlemi uygulanır. Faz değişimi gerçekleştirilen diyafram ve metalik disk parçalarının kumlama ile yorulma dayanımı artırılır. Bu tezin konusu olan termo-mekanik iyileştirme için, termal absorpsiyon özelliği en yüksek olan döküm parça, debriyaj plakasına yoğunlaşmıştır. Debriyaj plakasına döküm prosesinden sonra ilave bir ısıl işlem uygulanmamaktadır. Şekil 3.3’te suverme ve menevişleme yapılmış parçaların ham malzemeye kıyasla mukavemetinin arttığı gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Çeliklerin mukavemet kıyaslaması

Rulo saç halinde ham malzemesi temin edilen debriyaj kapağının temsili üretim aşamaları Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Daha ileri pres teknolojileri ile bu operasyonları birleştirip adım aşamasını düşürmek mümkündür. Operasyon aşaması olarak birinci adımda açınım diye adlandırılan düz kesim elde edilir, bu aşamada final geometrideki langet montaj delikleri de açılır, açınım geometrisini ve dişi/erkek kalıp datalarını belirlemek için deneme yanılma yöntemleri yerine şekil verme simülasyonlarından faydalanılır (Çakmak 2012). Operasyon 2'de genel form verilir ve ilerleyen operasyonlarda da kapağın tasarımı doğrultusunda delikler açılır veya bükme yapılr.

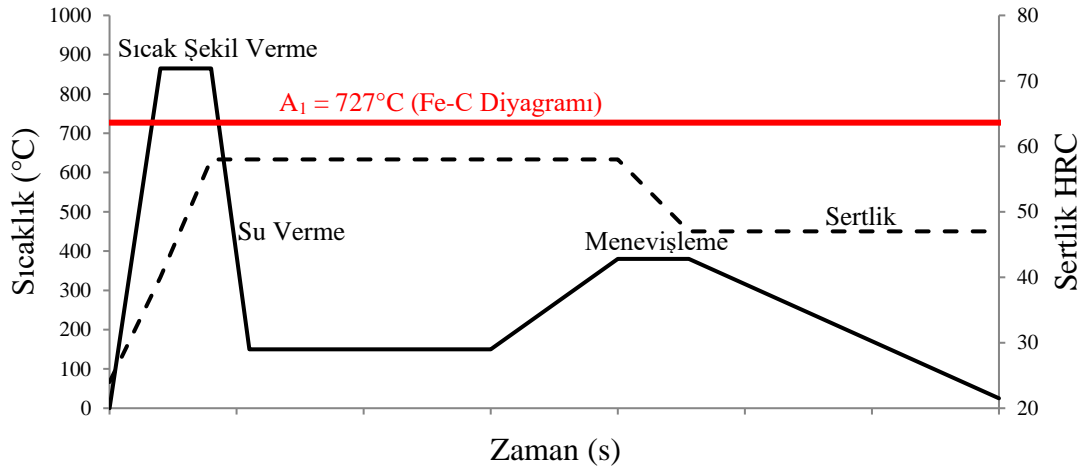


Şekil 3.4. Debriyaj kapağına şekil verme aşamaları

Diyafram parçasının üretim aşamalarında ısıl işlemler bulunmaktadır. Yine kapak gibi rulo saç halinde ham malzemesi temin edilen diyaframın düz halde parmak geometrisinin kesimi presler ile yapılır. Sonrasında ise sıcak olarak şekillendirilirken aynı zamanda faz değişimi gerçekleştirilir. Son olarak kullanım ömrünü uzatmak için kumlama ve korozyon dayanımı için yağ veya fosfatlama yapılan diyafram yayının görseli Şekil 3.5'te ve temsili ısıl işlem üretim aşamaları Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

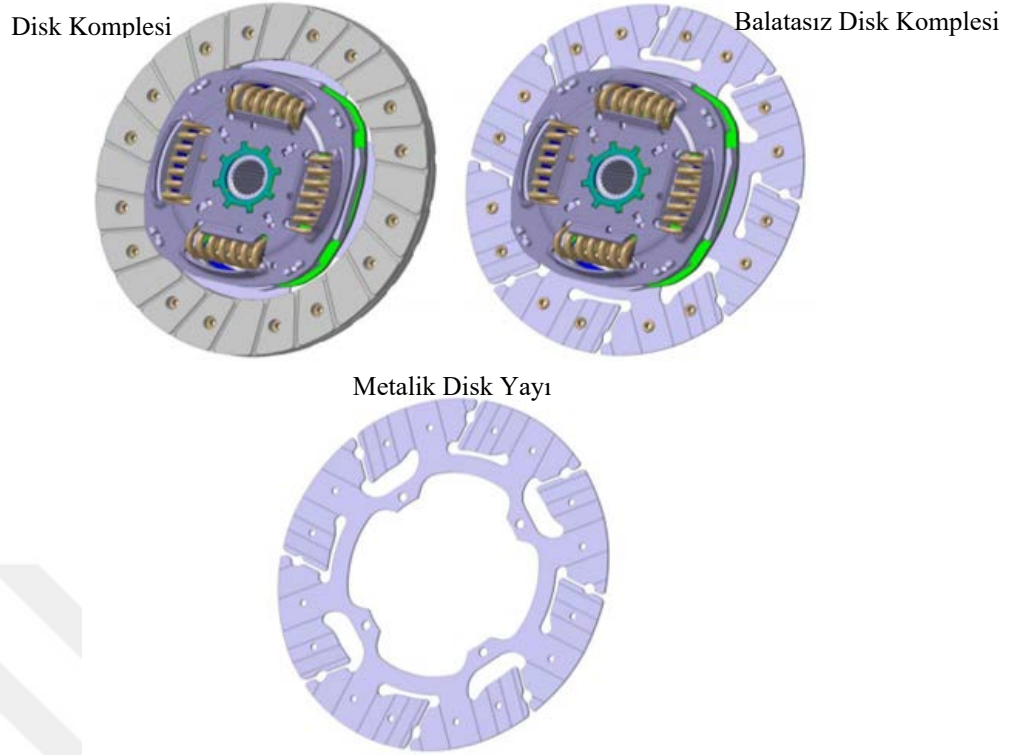


Şekil 3.5. Debriyaj diyafram yayı

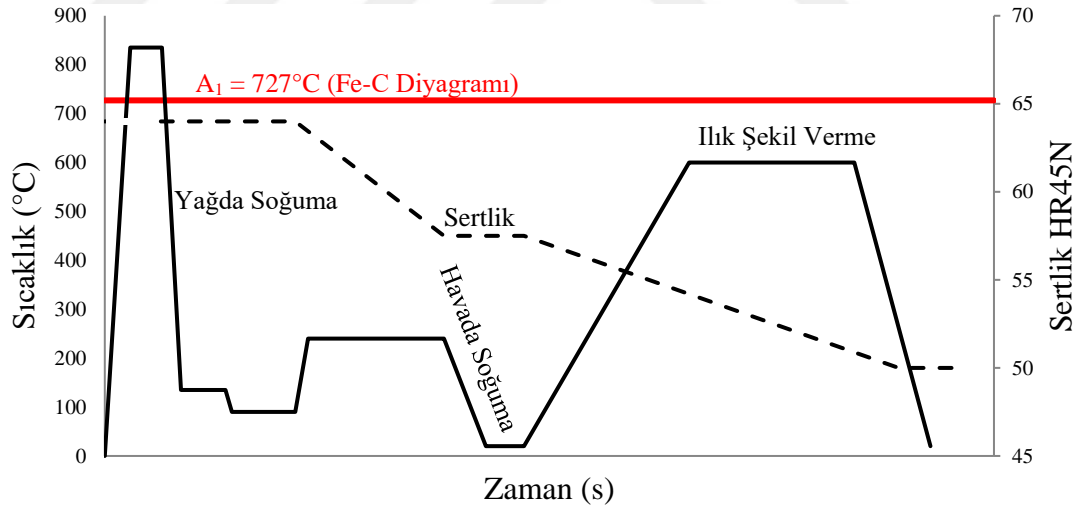


Şekil 3.6. Debriyaj diyafram yayının ısıtım adımları

Metalik disk parçasının üretim aşamalarında da ısıtım işlemleri bulunmaktadır. Fakat bu süreç diyaframdan farklı olarak gerçekleşmektedir. Kapak ve diyafram gibi rulo saç halinde ham malzemesi temin edilen metalik diskin düz halde geometrisinin kesimi presler ile yapılır. Sonrasında ise faz değişimi şekil verilmeden gerçekleştirilir. Eksenel yüklemelerde yay etkisi gösteren geometrisindeki kıvrımlar en son faz değişim sıcaklığı altında gerçekleştirilir. Son olarak kullanım ömrünü uzatmak için kumlama ve korozyon dayanımı için yağ veya fosfatlama yapılan metalik disk yayının görseli Şekil 3.7'de ve temsili ısıtım üretim aşamaları Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Debriyaj metalik disk yayı



Şekil 3.8. Debriyaj metalik disk yayının ısıl işlem adımları

Bu tez çalışmasının odaklandığı parça olan debriyaj plakası ise döküm teknolojisi ile üretilmektedir. Döküm işlemi, içinde üretmek istenen parçanın biçimine sahip bir boşluk bulunan kalıplara sıvı metalin doldurulması ile yapılır. Kalıp boşluğunun boyutları elde edilmek istenen parçadan biraz büyüktür; bu şekilde katılaşma ve soğuma sırasındaki boyut azalmaları dengelenir. Sıvı metalin doldurulduğu kalıp açık veya

kapalı olabilir. Döküm teknolojisinde daha yaygın olarak kullanılan kapalı kalıplarda, sıvı metalin kalıba doldurulması için bir yolluk sistemi bulunur (Şekil 3.9). Kalıplar değişik refrakter malzemelerden yapılabilir; bunlar arasında kum, alçı, seramik ve metal sayılabilir. Katılma sonrasında bazı döküm yöntemlerinde parçanın çıkarılması için kalıbın bozulması gerekir, yani kalıplar sadece bir kez kullanılırlar (kum kalıp). Bazı yöntemlerde ise kalıplar kalıcıdır ve birden çok parça üretimi için kullanılırlar (metal/kokil kalıp) (Aran 2007).

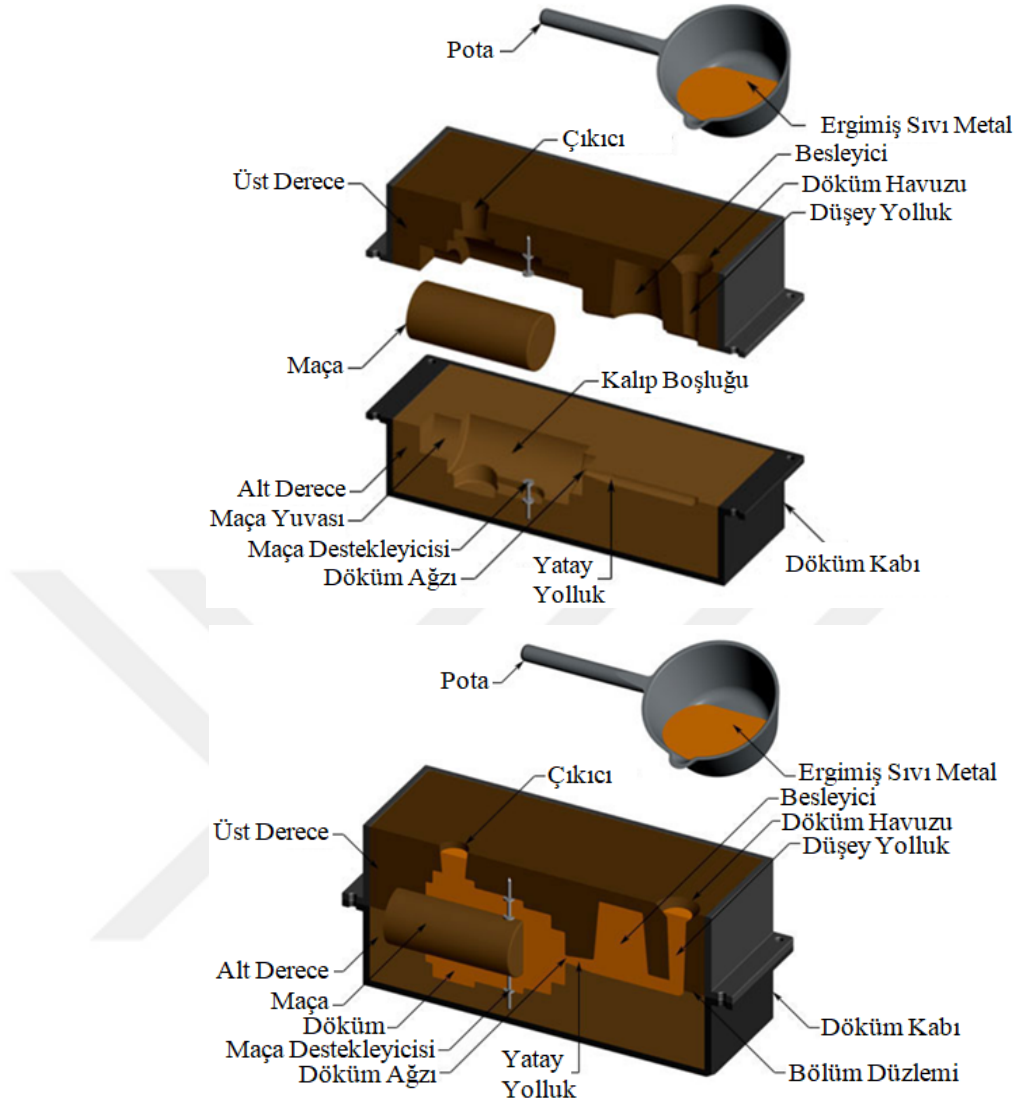
Döküm öncesinde metal eritilir ve döküm sıcaklığına çıkarılır. Kalıba dolan metal soğumaya başlar, sıcaklık belirli bir değere düştüğü zaman katılaşmaya başlar ve katılma tamamlandığında hala sıcak olan parça oda sıcaklığına kadar soğur. Bu sırada önemli miktarda ısı uzaklaştırılır ve faz dönüşümleri olabilir. Bütün bu süreç boyunca parçanın boyut ve biçimi yanında malzemenin içyapısı ve dolayısıyla özellikleri belirlenir. Döküm sonrasında parça kalıptan çıkartılır, parçaya ait olmayan kısımlar uzaklaştırılır, yüzey temizlenir, varsa ısıl işlem yapılır ve gerekli kontrollerden sonra imalat tamamlanmış olur.

Döküm yoluyla biçimlendirilen metallerin en önemlileri: dökme demirler, çelik, bakır ve alüminyum alaşımlardır. Günümüz dökümhaneleri mekanizasyon ve otomasyon yöntemlerinin yaygın olarak uygulandığı modern tesislerdir. Döküm tekniğinde kaliteyi, büyük ölçüde erimiş metalin içine döküldüğü kalıpların türü ve hazırlanışında gösterilen özen belirler. Uygulanacak kalıplama yönteminin seçiminde: üretilecek parça sayısı, amaçlanan üretim hızı, boyut hassasiyeti, yüzey kalitesi, metalürjik kriterler ve yöntemle özgü diğer özellikler dikkate alınır.

Metal döküm teknikleri kullanılan kalıpların türüne göre iki gruba ayrılır;

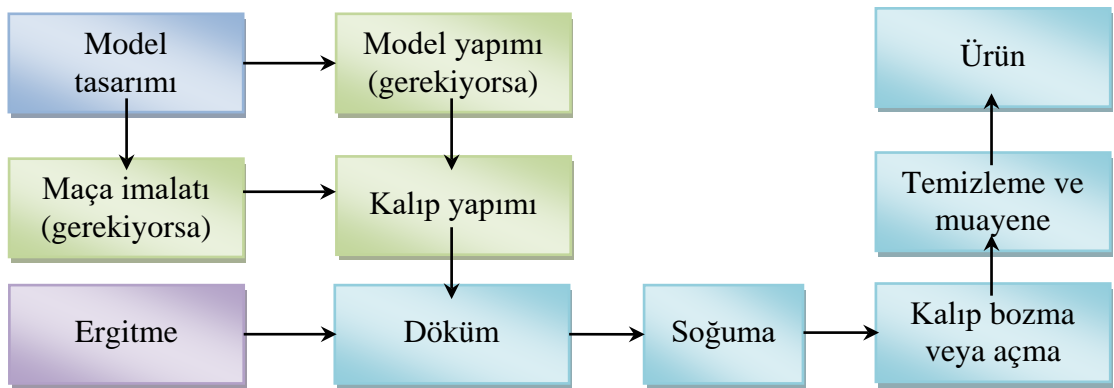
Harcanan kalıp kullanan yöntemler: Bu yöntemlerde katılma sonrasında parça çıkarılırken kalıp bozulur. Yani her yeni parça için yeni bir kalıp gereklidir.

Kalıcı kalıp kullanılan yöntemler: Bu yöntemlerde kalıp defalarca kullanılabilceğinden, seri üretim için daha ekonomik çözümdür.



Şekil 3.9. Kum kalıba döküm kesiti (Anonim 2017a)

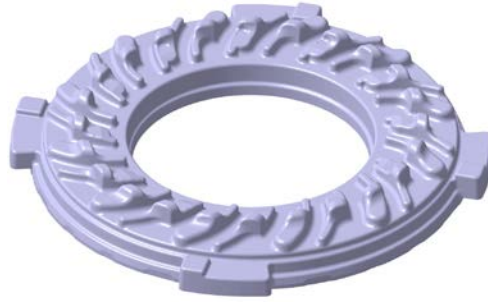
Döküm işlemi akış şeması Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Döküm işlem akış şeması

Model, üretilecek parçanın bire bir kopyası olup, kalıp içinde dökülecek sıvı metalin dolduracağı boşluğu elde etmek için kullanılır. Modellerin biçim ve boyutlarının belirlenmesinde, katılma sonrasında parçanın soğuyarak büzülmesi, işleme payları, modelin kalıptan sıyrılmasını kolaylaştıracak eğimler ve maça yuvalarının da düşünülmesi gerekir. Döküm teknolojisinde modelin doğru tasarımı ve kaliteli olarak üretimi çok önemlidir. Kötü bir model kullanarak kaliteli bir kalıp hazırlamak ve iyi bir döküm gerçekleştirmek mümkün değildir (Aran 2007).

Model malzemesi olarak ahşap, metal, alçı, plastik, köpük vb. kullanılır. Model malzemesi seçiminde şu kriterler dikkate alınır; üretilecek parça sayısı, istenen boyut hassasiyeti, uygulanacak kalıplama yöntemi, parçanın boyut ve biçimi ve modelde düzeltme yapılıp yapılmayacağı. En yaygın olarak kullanılan malzeme ahşaptır. Bunun nedeni ucuz, hafif, kolay şekillendirilebilir olmasıdır. Diğer bir model türü de, dolu kalıba döküm yönteminde kullanılan köpük modellerdir. Bunlar dökümden önce kalıptan çıkarılmazlar ve erimiş metalle temas geçtiklerinde gaz haline geçerek kalıbı terk ederler. Şekil 3.11'de gösterilen döküm debriyaj plakasının termo-mekanik iyileştirme hedefiyle gerçekleştirilen prototip çalışmalarında hem köpük hem ahşap model yöntemi denenmiştir. Termo-mekanik iyileştirme kısmında prototipleme detayları belirtilmiştir.

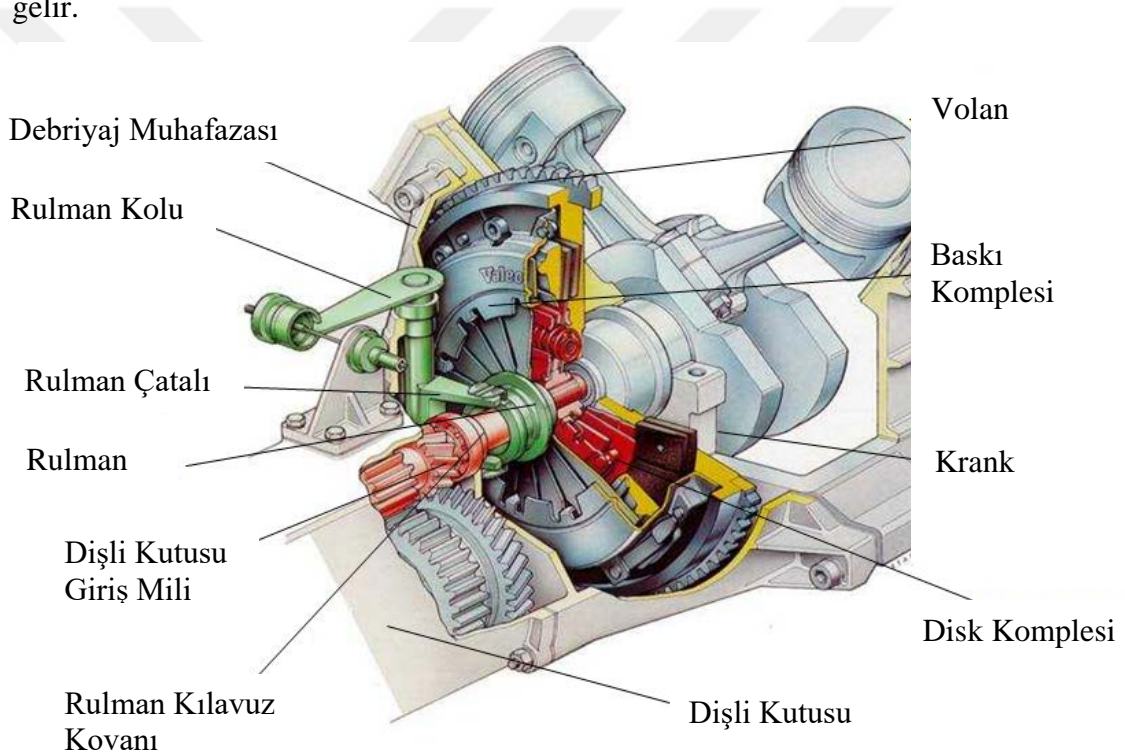


Şekil 3.11. Debriyaj döküm plakası

Parçaları ısıtma işlemi, soğuk ve sıcak şekillendirme, döküm ve plastik enjeksiyon gibi birçok üretim disiplini içeren debriyaj sistemlerinin araca montajı, içten yanmalı motor ile dişli kutusu arasındaki debriyaj muhafazası içerisine yapılır (Şekil 3.12).

Manuel transmisyona sahip araçlar, tork aktarımında kesinti olan ve araçta debriyaj pedalının bulunduğu sistemlerdir. Bu sistemlerde sürücülerin debriyaj pedalına basmadığı koşula;

kavrama durumu (debriyaj kapalı) denir ve bu durumda debriyaj tamamıyla içten yanmalı motor tarafından üretilen torku iletmekle görevlidir. Sürücülerin debriyaj pedalına bastığı koşula; ayırık durum (debriyaj açık) denir ve bu durumda debriyaj, vites değişikliğinin kolaylıkla yapılabilmesi için içten yanmalı motorun ürettiği torkun transmisyona iletimini kesme görevini yerine getirir. Bu tez çalışmasının konusu olan sürücülerin eğimli yolda kalkış gibi debriyaj pedalına kısmi basma koşuluna ise; kaçırma durumu (debriyaj kısmi kapalı) denir. Şekil 3.13'te bu üç durumda gösterilmiştir. Debriyaj açık veya kapalı iken balatalar ile volan ve plaka arasında sürtünme yok iken, debriyajın kısmi kapalı yani debriyaj pedalına tam basılıp ayrılmanın tam olarak sağlanmadığı durumlarda bu parçalar arasında sürtünme meydana gelir.

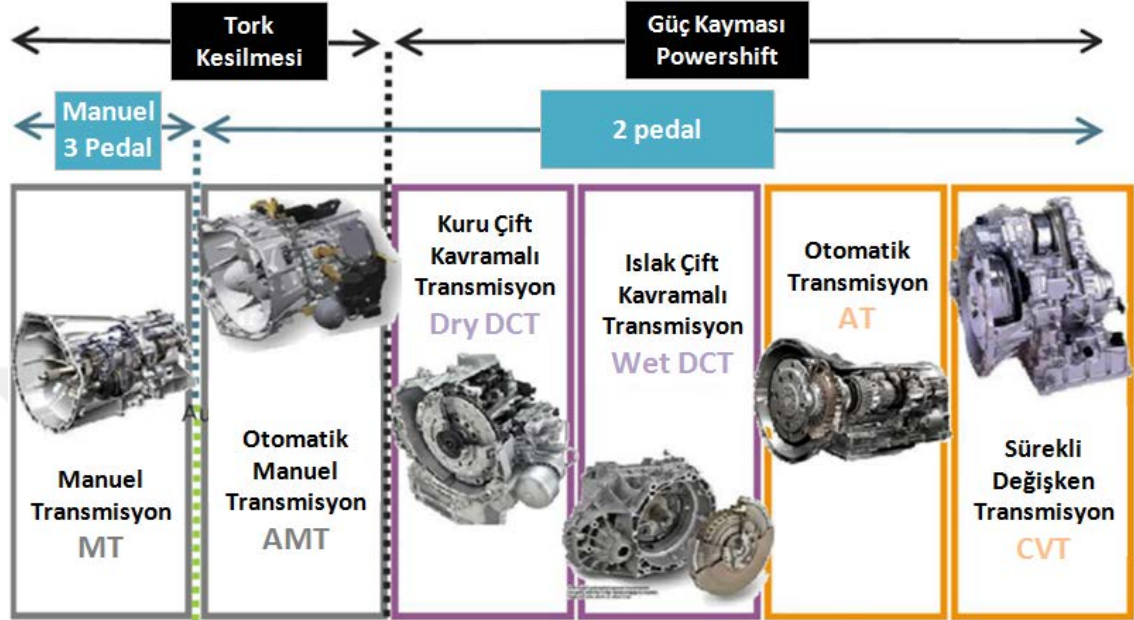


Şekil 3.12. Debriyaj sisteminin araçta montajı



Şekil 3.13. Debriyaj sisteminin farklı koşullardaki tork iletimi

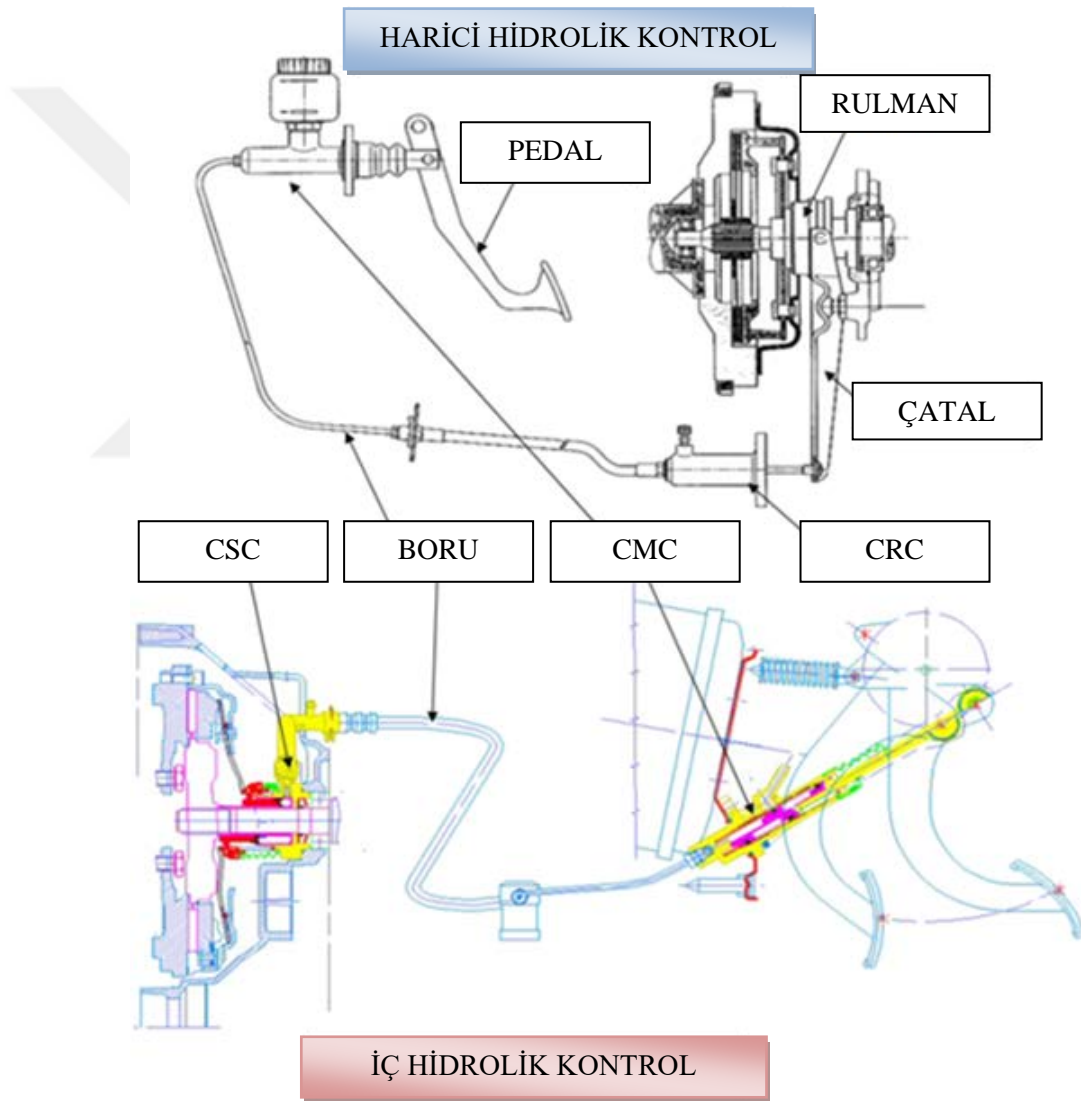
Şekil 3.14'te araçlardaki transmisyon sistemleri gösterilmiştir. Bu tez kapsamında incelenen kuru tip tek plakalı debriyaj sistemleri Manuel ve Otomatik Manuel Transmisyon sistemlerinde kullanılmaktadır.



Şekil 3.14. Araçlardaki transmisyon sistemleri

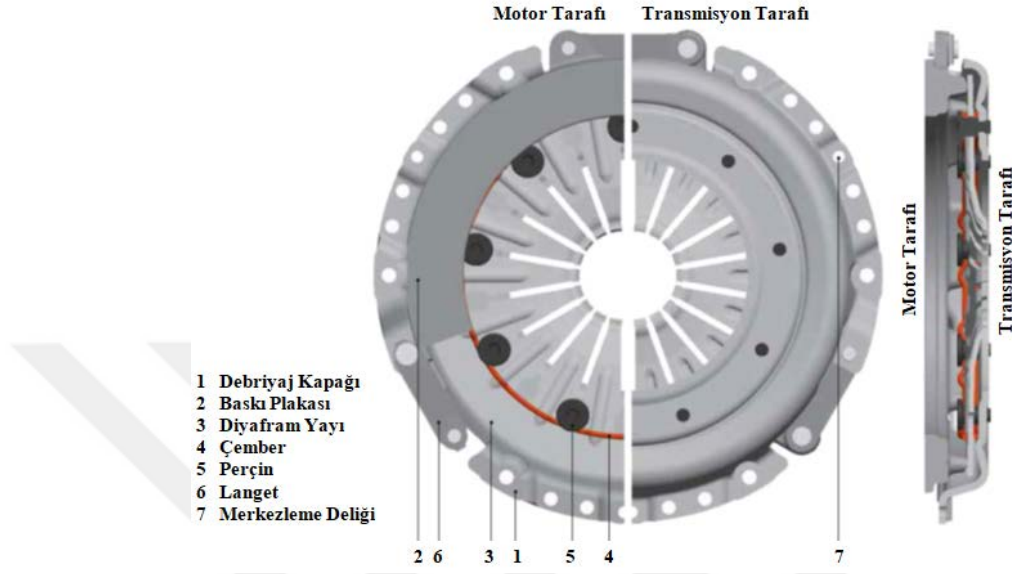
Pedaldan debriyaja hareketi iletip debriyajın ayırmasını sağlayan kontrol ünitesi geçmişte kablolu iken günümüzde, hidrolik sistemler kullanılmaktadır. Hidrolik kontrol ünitesi montajda esneklik ve yüksek verim sağlamaktadır. Bu yapı, debriyaj pedalı ile debriyaj diyaframına kurs veren rulman arasındaki deplasman ve yük oranlarının farklı olmasına olanak sağlar. Örneğin debriyaj pedalına 150 mm kurs verilirken, bu oran debriyaj diyaframına binek araçlarda 8-10 mm ağır ticari vasıtalarda 12-14 mm olarak yansır. Benzer şekilde pedal yükleri de 100-150 N iken diyafram yükü binek uygulamalarda 1500-2000 N, ağır vasıta ticari araçlarda 5000-8000 N'lara kadar çıkar. Hidrolik üniteler, harici ve iç olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Harici hidrolik kontrol ünitelerinde çatal diye adlandırılan mesnet kolu var iken, iç hidrolik kontrol ünitelerinde bu ürün bulunmamaktadır ve onun yerine diyaframa kurs verme görevini, yağ basıncı ile aktive edilen, CSC (Concentric Slave Cylinder) diye adlandırılan, entegre hidrolik rulman elemanı yerine getirmektedir. Her ikisinde de kullanılan CMC (Clutch Master Cylinder), pedal kursunu ve yükünü, yağ basıncına dönüştürür. Pedal karakteristiğinin sağlanmasında temel parça, diyafram yayıdır. İlk debriyaj

sistemlerinde kullanılan helisel yayların aksine daha düz ve daha hafif bir tasarım avantajı vardır. Açısı ve kalınlığı, iç ve dış çapı yük karakteristiğini belirleyen önemli parametrelerdir. Helisel yayların yük karakteristiğinin doğrusal olması, balataların aşınması ile birlikte yükün torku iletemeyecek seviyelere düşmesine sebep olabilir. Diyafram yayında ise aşınma ile birlikte ilk önce bir yükseliş ve daha sonrasında bir düşüş gerçekleşir. Tasarım yapılırken balata aşınma miktarında tork aktarımı için gerekli olan yük miktarının sağlanması gözetilir. Şekil 3.15'te harici ve iç hidrolik kontrol ünite sistemleri gösterilmiştir.



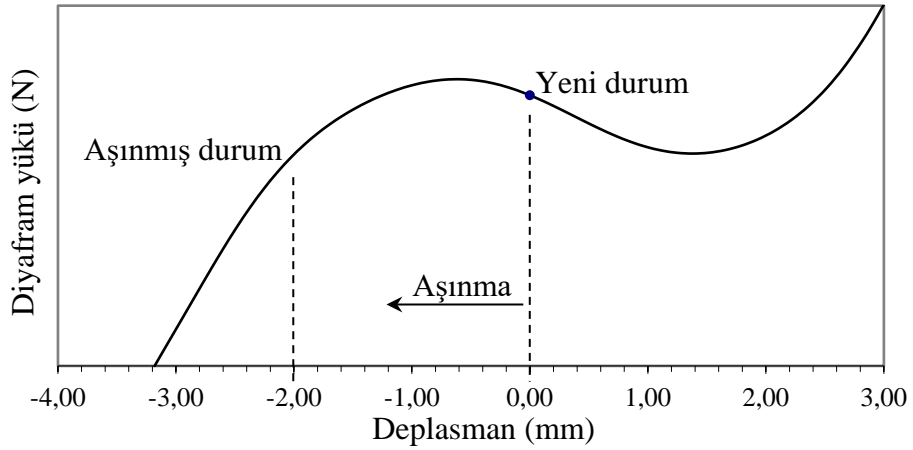
Şekil 3.15. Harici ve iç hidrolik kontrol üniteleri

Şekil 3.16’da baskı plakası, kapak ve diyaframı içeren baskı kompleksinin komponent detayları verilmiştir. Baskı kompleksi volana, kapak bağlama deliklerinden montaj edilerek motor çalıştıkça motor hızıyla birlikte dönmektedir.



Şekil 3.16. Baskı kompleksi (Kronmüller ve Petri, 2015)

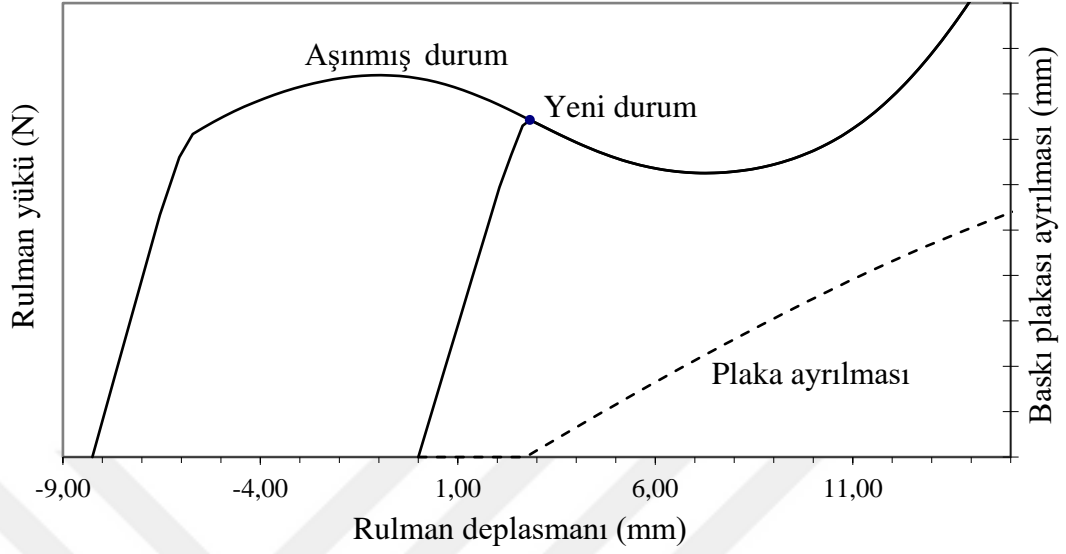
Baskı kompleksinde pedal yükü ve baskı yükünü sağlayan diyaframın temel yük karakteristiği Şekil 3.17’de gösterilmiştir.



Şekil 3.17. Diyafram yükü

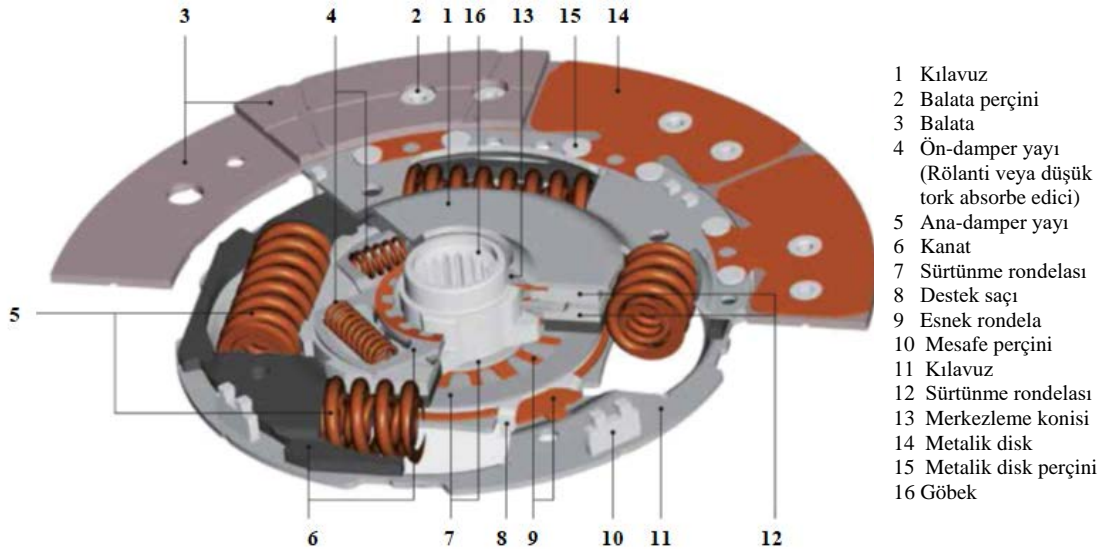
Rulman yükü de diyafram yüküne paralel karakteristik sergiler (Şekil 3.18). Disk kompleksi ile birlikte ölçüm yapıldığında ise, balatalar arasındaki metalik diskin

diyafram yüküne karşı etkisi ile maksimum yük noktasında bir miktar düşüş gözlenir (Kaya ve ark. 2015).



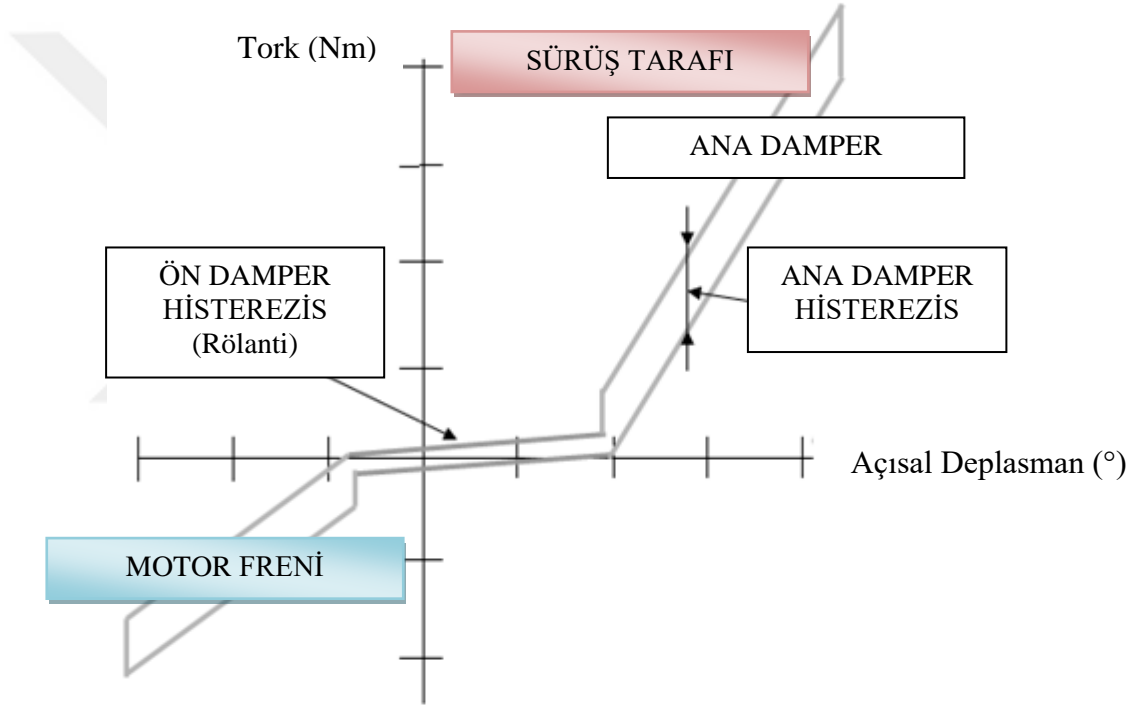
Şekil 3.18. Rulman yükü

Disk kompleksi (Şekil 3.19) ise rölanti, sürüş ve motor freni esnasında, helisel yayların uygun rijitliği sayesinde tork sönümlemesini gerçekleştirir ve konforu sağlar. Parçalar arasındaki sürtünme ile oluşan histerezis de sönümlemede iş görür ve gidiş dönüş eğrileri arasındaki farkın sebebidir.



Şekil 3.19. Disk kompleksi (Kronmüller ve Petri, 2015)

Şekil 3.20’de Disk kompleksi temsili karakteristiği gösterilmiştir. Yatay eksen, Şekil 3.19’da detayı verilen disk kompleksindeki yayların açısall deplasmanı, düşey eksen ise açısall deplasmana tekabül eden tork seviyeleri gösterilmiştir. Araç rölanti devrinde iken genellikle dizel araç uygulamalarında kullanılan ve Şekil 3.19’da (4) numaralı olarak belirtilen ön damper yay grubu sönümleme gerçekleştirir. Araç hızlanması, yüksek araç hızları vb. yüksek tork seviyelerinin söz konusu olduğu durumlarda ise Şekil 3.19’da (5) numara olarak belirtilen ana damper yayları sönümlemeyi gerçekleştirir. Vites düşürülerek gerçekleştirilen, motor freni durumunda ise damper grubu negatif torku sönümlemektedir.



Şekil 3.20. Disk kompleksi temsili karakteristiği

Araç üreticilerinin pedal konforu gibi gereksinimleri ve motor verileri, farklı tip baskı ve disk kompleksi tasarımlarına yol açar. Baskı kompleleri için itme/çekme veya perçinli, esnek tip gibi birçok çeşit mevcuttur. Pedal yükünü debriyaj ömrü boyunca sabit tutan sistemler de özel istekler doğrultusunda üretilebilmektedir. Disk komplelerinde ise tasarım hem motor tork karakteristikleri hem de NVH (Noise Vibration Harshness) gereksinimleri gözetilerek çeşitlendirilir.

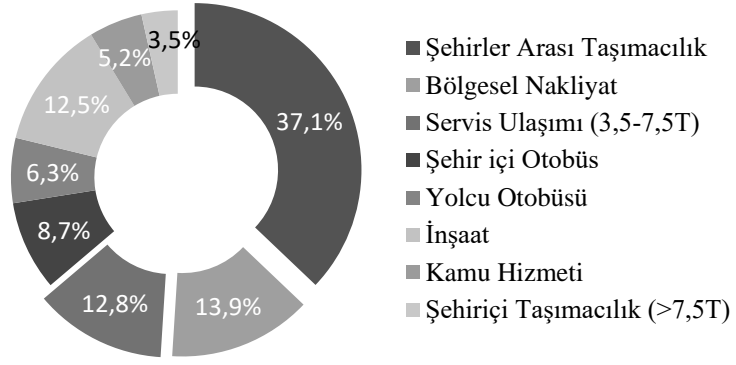
3.2. Ağır Vasıta Araçlarda Verimlilik Standartları

Araç kütlelerine göre hafif (LCV), orta (MCV) ve ağır vasıta (HCV) olarak sınıflandırılan ticari araçların maliyet ve verimlilik standartları farklılık göstermektedir (Çizelge 3.2). Bu tez kapsamında incelenen debriyaj kompleksinin kullanıldığı araç sınıfı 32 ton ve üzeri olan inşaat serisi ve damperli kamyon grubundandır. Şekil 3.21'den görüleceği üzere ağır vasıta ticari araçların sera gazları emisyonu ve enerji tüketiminin yaklaşık 2/3'lük kısmı; şehirlerarası taşımacılık, bölgesel teslimat ve servis ulaşımı uygulamalarında tüketilmektedir (Norris ve Escher 2017). Bu grup araçların 6 yıllık veya yaklaşık 115.000 km'lik işletim maliyetleri incelendiğinde en çok maliyetli parametrenin yakıt tüketimi (%32) olduğu göze çarpmaktadır (Nürk ve Maier 2014) (Şekil 3.22).

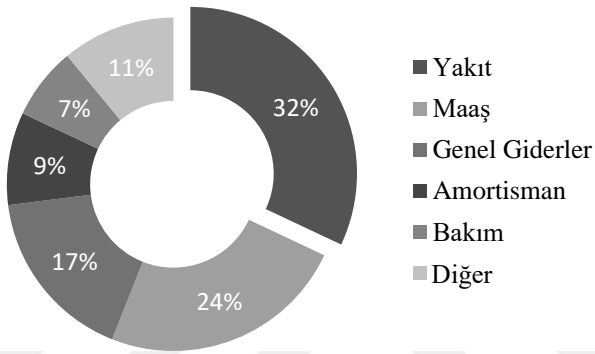
Çizelge 3.2. Ticari araçların sınıflandırılması

| | | | | | | | | |
|-----------------|---|--------------------|---|-------------|--|---|---|--|
| HCV (32T-) | | | | | | |  |  |
| HCV (16-32T) | | |  | |  |  |  | |
| MCV (6-16T) | | |  | | | | | |
| LCV (3.5-6T) |  | |  | | | | | |
| | Pikap | Şehir içi Nakliyat | Bölgesel Nakliyat | Uzun Mesafe | Şehir Otobüsü | Şehirler-arası Taşıma | Damperli Kamyon | İnşaat Kamyonu |

Ağır vasıta araçların sera gazları emisyonu oldukça yüksek olmasına karşın, örneğin Avrupa Birliği'nde henüz araçların verimliliği ile ilgili bir yönetmelik yayınlanmamıştır. Buna karşın Kanada, Japonya, Amerika ve Çin gibi, marketin büyük bir kısmını temsil eden ülkelerde yönetmelikler mevcuttur (ICCT 2016) (Çizelge 3.3). Bu bilgiler, aktarma organlarında yapılacak değişikliklerde, CO₂ emisyonlarının da göz önünde bulundurulması gerektiği konusunda veriler sunmaktadır. Özellikle debriyaj plakası kütle artışı ile sağlanabilecek termal kapasite iyileştirmesinin, en yüksek maliyet kalemi olarak gözüken yakıt tüketimine olumsuz etkisi değerlendirilmelidir (Şekil 3.22).



Şekil 3.21. Ticari araçların hizmet alanına göre CO₂ emisyon oranları (Norris ve Escher 2017).

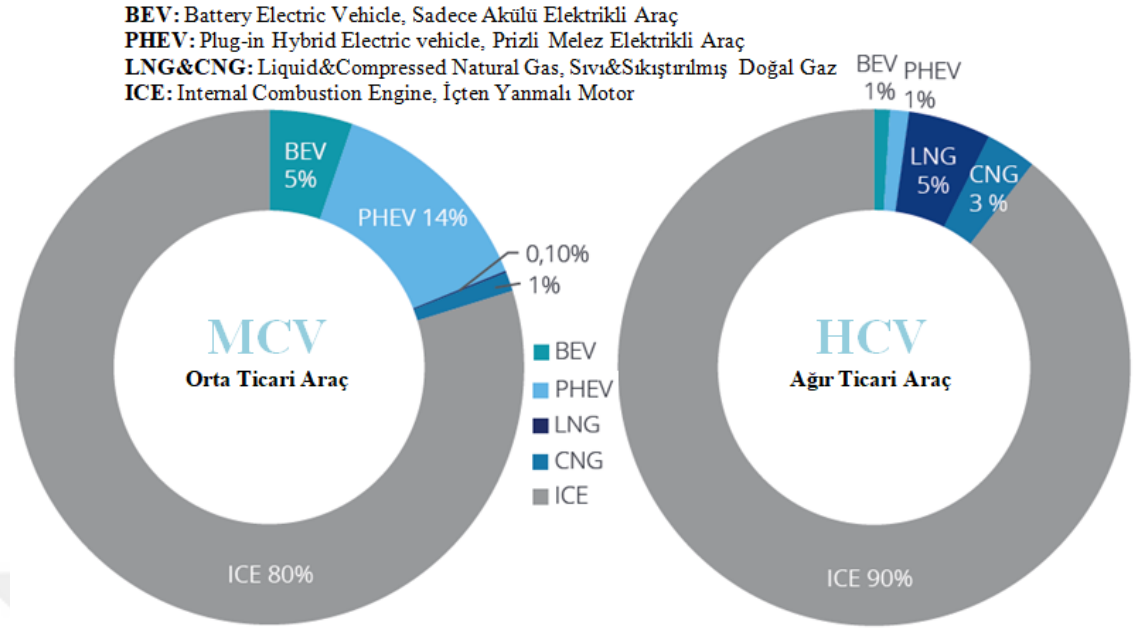


Şekil 3.22. Ağır vasıta ticari araçların toplam işletme maliyet analizi (Nürk ve Maier 2014).

Çizelge 3.3. Ticari araçların sera gazı emisyonları standartlarının öngörüsü (ICCT 2016)

| | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 |
|-----------|-------|------|--------|--------|------|------|-----------|--------|--------|--------|------|------|------|------|
| Japonya | | | | 1. FAZ | | | | | 2. FAZ | | | | | |
| ABD | | | 1. FAZ | | | | | 2. FAZ | | | | | | |
| Kanada | | | 1. FAZ | | | | | 2. FAZ | | | | | | |
| Çin | 1.FAZ | | 2. FAZ | | | | | | 3. FAZ | | | | | |
| AB | | | | | | | RAPORLAMA | | | 1. FAZ | | | | |
| Hindistan | | | | | | | | | 1. FAZ | | | | | |
| Meksika | | | | | | | | | 1. FAZ | | | | | |
| K. Kore | | | | | | | | | 1. FAZ | | | | | |

İçten yanmalı motorların 2026 yılına göre öngörülen kullanım oranları, orta ticari ağır vasıta araçlarda %80 ve ağır ticari vasıta araçlarda %90 civarındadır (Schiller ve ark. 2016) (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. 2026 yılında alternatif aktarma organı payları öngörüsü (Schiller ve ark. 2016).

3.3. Debriyaj Sistemlerinde Tork Aktarımı ve Enerji Yayınımı

Debriyaj sistemleri tarafından aktarılacak tork değeri üç farklı değişkene bağlıdır;

- Volan / Balata / Baskı Plakası arasındaki sürtünme katsayısı,
- Balatalara diyafram tarafından uygulanan aksel baskı yükü,
- Uygulanan aksel yükün ortalama yarıçapı.

Motor tarafından üretilen tork değeri Γ_M ve debriyaj tork kapasitesi Γ_C kabulü ile;

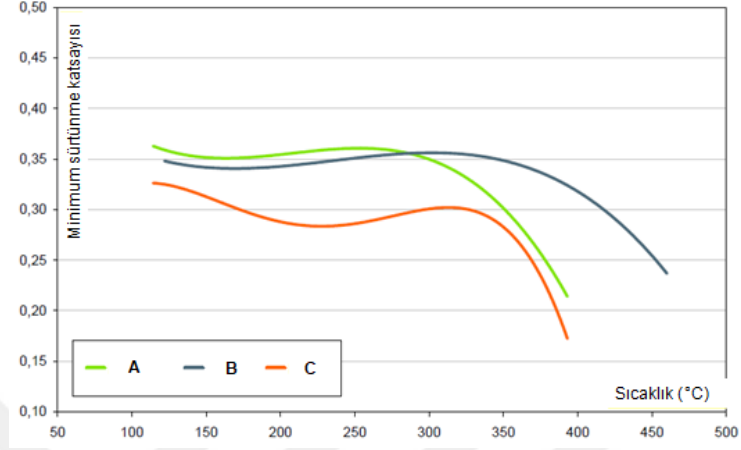
$$\Gamma_C = s_f \Gamma_M \quad (3.1)$$

s_f aracın tipi ve kullanım tarzına bağlı olarak tanımlanan güvenlik katsayısıdır. Binek araçlarda genellikle minimum 1.2, spor ve dört çekerli araçlarda daha yüksek, ticari araçlarda genellikle minimum 1.15 ve traktör uygulamalarında minimum 1.35 – 2.5 civarındadır. Debriyaj tork kapasitesi ise şu şekilde tanımlanır;

$$\Gamma_C = n \mu R_m P \quad (3.2)$$

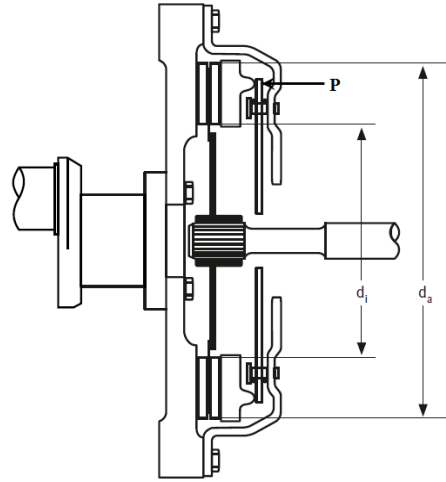
n sürtünme yüzey sayısı (tekil debriyaj sistemleri için bu değer 2'dir), μ sürtünme katsayısı (balata, volan ve plakanın malzeme kalitesi ve sıcaklığa bağlıdır) ve Şekil 3.24'teki deneysel verilerde gösterildiği üzere 300-350°C sıcaklık seviyelerinden sonra

dramatik bir şekilde düşmektedir. R_m balata ortalama yarıçapı (balata iç (d_i) ve dış çapına (d_a) bağlıdır), P diyafram tarafından plaka vasıtası ile balatalara uygulanan aksel yüküdür (Şekil 3.25).



Şekil 3.24. Farklı balata malzemeleri için sürtünme katsayısının sıcaklıkla değişimi

Denklem 3.2'ye göre olması gereken balata ortalama yarıçapı ve baskı yükü belirlenirken diğer önemli kısıtlar kavrama süresince açığa çıkan enerji ve talep edilen pedal yükünün rulman yüküne olan yansımalarıdır.



Şekil 3.25. Debriyaj tork hesabında baskı yükü ve balata çapları

Debriyajın kavrama esnasındaki operasyonu, en azından birinin dönmekte olduğu iki milin hareketi, eşzamanlı hale getirilinceye kadarki geçiş aşamasıdır. Debriyaj bu kavramayı sağlayan elemandır. Debriyajın her iki mil için ürettiği torkun sonucu olan

sürtünme kayması, hızı başlangıçta düşük olan milin hızlandırılması, dolayısıyla sürüş torkunun sağlanması ve diğer milin hareketine karşı bir direnç torka dönüşür.

İki parçanın her biri, torkların uygulanabileceği atalet momentleri ile karakterize edilen bir güç aktarma organları ile ilişkilendirilmekte ve doğrudan diğerlerine bağlanarak ya da hızın çarpılması ile sistemlerle ilişkilendirilmektedir. Debriyajın çalışma mekaniğini inceleyebilmek için, her bir aktarma organını, ataleti I ve torku Γ olan volana ilişkilendirilmiş bir mil üzerinden incelemek yeterli olacaktır.

Debriyaj operasyonunun işleyişine (Şekil 3.26) kinetik momentum teoreminin uygulanması ile;

$$I_1 \frac{d\omega_1}{dt} = \Gamma_M(t) - \Gamma_c(t) \quad (3.3)$$

$$I_2 \frac{d\omega_2}{dt} = \Gamma_c(t) - \Gamma_V(t) \quad (3.4)$$

Denklem 3.3 ve 3.4'ün integralinin alınması ile millerin hızları belirlenir;

$$\omega_1 = \omega_{10} + \int \frac{\Gamma_M(t) - \Gamma_c(t)}{I_1} dt \quad (3.5)$$

$$\omega_2 = \omega_{20} + \int \frac{\Gamma_c(t) - \Gamma_V(t)}{I_2} dt \quad (3.6)$$

Böylece kaçırma sırasındaki göreceli hız;

$$\omega_r(t) = \omega_1 - \omega_2 = \omega_{10} - \omega_{20} + \int \frac{\Gamma_M(t) - \Gamma_c(t)}{I_1} dt - \int \frac{\Gamma_c(t) - \Gamma_V(t)}{I_2} dt \quad (3.7)$$

ω_{10} ; ataleti I_1 olan milin $t=0$ anındaki hızı

ω_{20} ; ataleti I_2 olan milin $t=0$ anındaki hızı

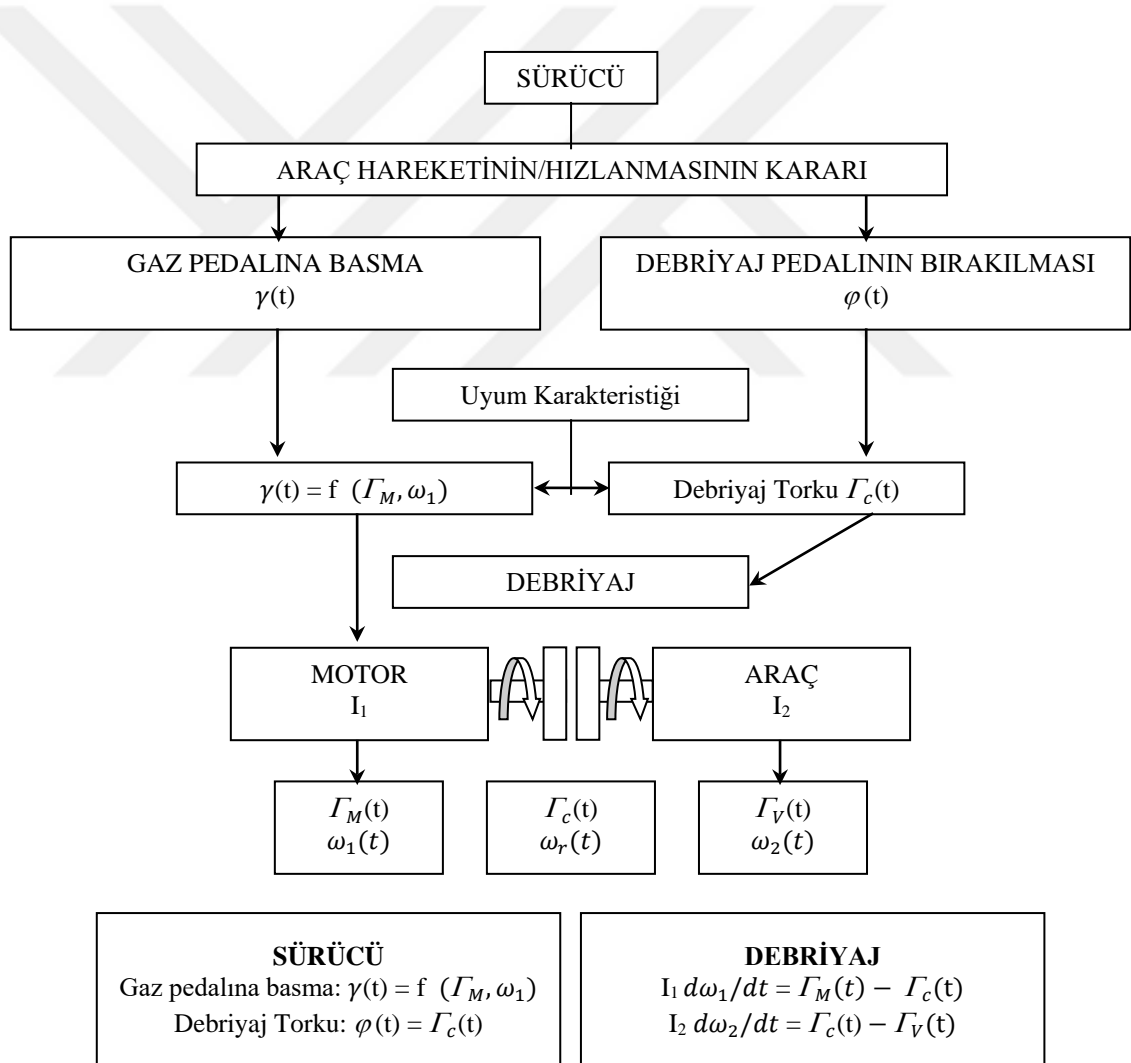
İki mil arasında göreceli hareketin ($\omega_1(t) \neq \omega_2(t)$) olduğu zamanlarda enerjinin bir kısmı ısıya dönüşür. Aracın hareketinin başladığı debriyajın kavrama süresince enerji dengesi şu şekilde tanımlanabilir;

Motor tarafından üretilen enerji = Taşıtın ilerletilmesi için faydalı enerji + Kavrama esnasındaki sürtünmede yayılan enerji.

Aracın hareketinin başlatılmasındaki debriyajın enerji hesabı için, yayılan enerjinin ısı formundaki tanımı;

$$E = \int_0^{t_s} \Gamma_c(t) \omega_r(t) dt \quad (3.8)$$

ω_r kaçırma süresindeki krank mili ile transmisyon mili arasındaki, bir başka deyişle, baskı kompleksi ve volan ile balatalar arasındaki göreceli hızdır.



Şekil 3.26. Debriyaj operasyonunun işleyişi

3.4. Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalar tezgah ve araç testleri olmak üzere iki farklı amaç için gerçekleştirilmiştir. Tezgah testlerinde, daha sonraki sayısal analizlerde girdi olarak kullanılmak üzere, debriyaj döküm plakası ile hava arasındaki ısı taşınım katsayısı (global) ölçülmüştür. Araç testlerinde ise eğimli yolda, araç tam yükte iken, ardışık duruş kalkışlar gerçekleştirilmiş ve araca monte edilen sensörler sayesinde, bu süreçteki debriyaj muhafazası sıcaklık değişimi, her bir debriyaj operasyonu için kavrama süresi ve debriyaj torku elde edilmiştir, dolayısıyla her operasyon için açığa çıkan enerji hesaplanmıştır. Araç testinde elde edilen veriler sayısal analizler ile korele edilmiş ve yapılan termo-mekanik iyileştirmelerde baz alınmıştır.

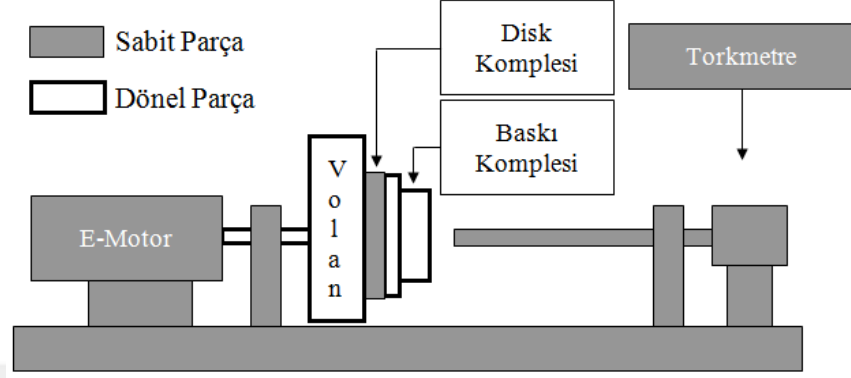
3.4.1. Tezgah Testleri

Tezgah testleri 3 farklı amaç için gerçekleştirilmiştir. Plaka yüzeyi ile hava arasındaki ısı taşınım katsayısının tayini ile sayısal analizlerde girdi olarak kullanılacak veri elde edilmiştir. Patlama testi ile parçanın mekanik deneysel doğrulaması, yüksek dönme hızları altında gerçekleştirilmiştir. Enerji testi ile ise parçanın termo-mekanik dayanımı doğrulanmıştır. Bu testler geleneksel tasarım ve termo-mekanik iyileştirme yapılan ürünle karşılaştırmalı olarak tekrarlanmıştır. Döküm parçalardan elde edilen numunelerin metalürjik analizleri, çekme testleri gerçekleştirilerek malzemenin mikroyapısı analiz edilmiştir.

Plaka Yüzeyi ile Hava Arasındaki Isı Taşınım Katsayısının Tayini

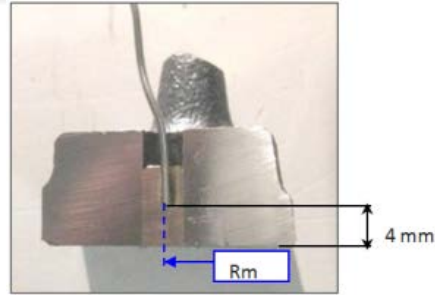
Tezgah testi ile debriyaj döküm plakası ile hava arasındaki ısı taşınım katsayısının (global) tayin edilmesi amaçlanmıştır. Bu testte plakanın kütle sıcaklığı 300°C'ye ulaşınca kadar debriyaj sistemi sürtünmeye maruz kalmış, sonrasında ise oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Soğuma süresince plakanın içerisine yerleştirilen sıcaklık sensörü ile plakanın sıcaklık değişimi kayıt altına alınmıştır. Benzer şekilde, debriyajın içerisine montaj olduğu volan muhafazasının da içerisindeki havanın sıcaklığı ilave bir sıcaklık sensörü ile ölçülmüştür. Bu sensörün konumu ayırmayı sağlayan rulmana yakın bir bölgedir. Diğer bir sıcaklık sensörü de volanı incelemek üzere bu parça üzerine ilave edilebilir. Test farklı dönme hızları için tekrarlanmış, ısı transfer katsayısının dönme hızına bağlı değişimi incelenmiştir. Şekil 3.27'de deney

düzenegi gösterilmiştir. Disk kompleksinin göbeğinden geçen mil, karşı tarafta, direnç torka bağlanmış ve diskin dönmesi engellenmiştir. Debriyaj ise volan ile birlikte elektrikli motor sayesinde döndürülmüştür.



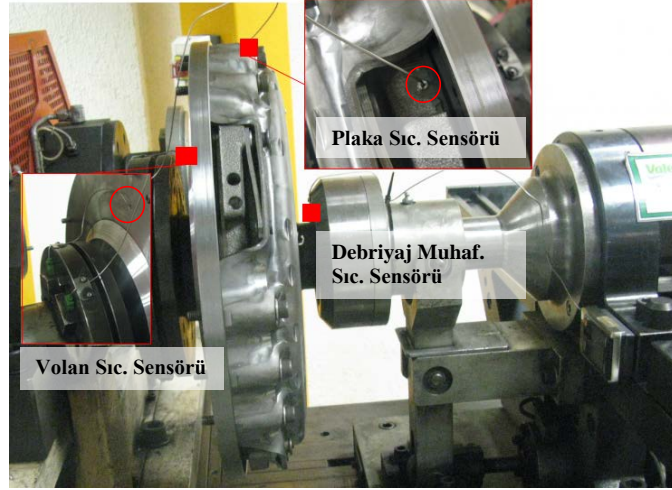
Şekil 3.27. Tezgah testi deney düzenegi şeması

Şekil 3.28’de plaka sıcaklık sensörünün konumu gösterilmiştir. Sensörün ölçüm yapan kısmı plakanın sürtünme yüzeyinden 4mm içeride olacak şekilde konumlandırılmıştır. Sıcaklık sensörü, radyal veya aksel delik açılarak konumlandırılabilir.

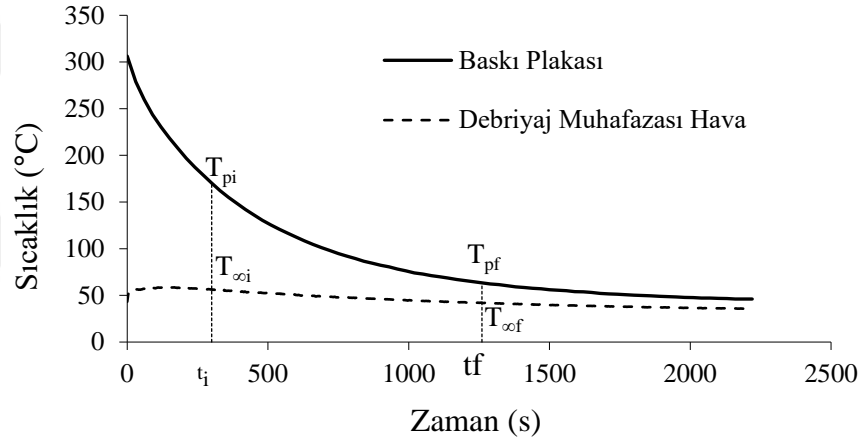


Şekil 3.28. Plaka sıcaklık sensörünün konumu

Şekil 3.29’da sensörlerin tezgah testindeki konumları, plakanın ve debriyaj muhafazası hava sıcaklığının temsili sıcaklık değişim grafiği de Şekil 3.30’da gösterilmiştir.



Şekil 3.29. Tezgah test düzeneği (ısı taşınım katsayısı tayini)



Şekil 3.30. Soğuma aşamasında sıcaklık düşümü

Zamana bağlı sıcaklık değişimi katı parçadaki genel enerji dengesi formüle edilerek belirlenebilir. Enerji dengesi katı parçanın yüzeyinden olan ısı kaybının iç enerji değişimine eşitliği ile ifade edilebilir;

$$-hA(T - T_{\infty}) = mc_p \frac{dT}{dt} \quad (3.9)$$

Sıcaklık farkı θ ile tanımlanırsa;

$$\theta \cong T - T_{\infty} \quad (3.10)$$

Denklem (3.9) bu durumda;

$$-hA\theta = mc_p \frac{dT}{dt} \quad (3.11)$$

Denklem (3.11)'in zamana göre integralinin alınıp tekrar düzenlenmesi ile;

$$-\int_{t_i}^{t_f} dt = \frac{mc_p}{hA} \int_{\theta_i}^{\theta_f} \frac{d\theta}{\theta} \quad (3.12)$$

İntegrallerin değerlendirilmesiyle;

$$t_f - t_i = \frac{mc_p}{hA} \ln \frac{\theta_i}{\theta_f} \quad (3.13)$$

t_i ve t_f başlangıç ve final zaman, θ_i ve θ_f plaka ile debriyaj muhafazası hava sıcaklık başlangıç ve final sıcaklık farklılığıdır. Böylece ısı transfer katsayısı şu şekilde tanımlanır;

$$h = \frac{mc_p}{A(t_f - t_i)} \ln \frac{(T_{pi} - T_{\infty i})}{(T_{pf} - T_{\infty f})} \quad (3.14)$$

h ısı taşınım katsayısı, A taşınımla ısı transfer yüzey alanı, m plakanın kütlesi, c_p plakanın özgül ısısı, T_{pi} and T_{pf} plakanın başlangıç ve final sıcaklıkları, $T_{\infty i}$ ve $T_{\infty f}$ debriyaj muhafazasının içerisindeki havanın başlangıç ve final sıcaklıklarıdır.

Plaka Patlama Testi

Patlama testi araçta ulaşılan maksimum devirlerde parçalarda kırılma veya çatlak oluşmayacağını teyit etmek için gerçekleştirilir. Ø430 çap debriyaj sistemleri, doğrulama için standart olarak 5000 dev/dak dönme hızına kadar çıkartılır. Eğer araçtaki maksimum devir daha yüksek ise o seviye gözetilir. Parçaların limitlerini gözlemleyebilmek için çoğu zaman parçalar patlayıncaya kadar dönme hızları artırılır ve hangi devirde patladıkları belirlenir. Şekil 3.31'de patlama tezgah test düzeneği gösterilmiştir. Patlayan parça için çevre güvenliği, içerisinde döndüğü tankın etrafına ahşaptan koruyucu katman yerleştirilmesi ile sağlanmıştır. Parçanın uygunluğu kriter hız seviyesine belirli açısız ivmelenme ile hızlanıp (ör; 5rad/s²), kritik devirde 60s döndürülmesi ile doğrulanır. Patlama testi ile debriyaj döküm parçalarının ve kompleksinin yüksek hızlar için yapısal dayanımı doğrulanmaktadır.



Şekil 3.31. Tezgah test düzeneği (patlama testi)

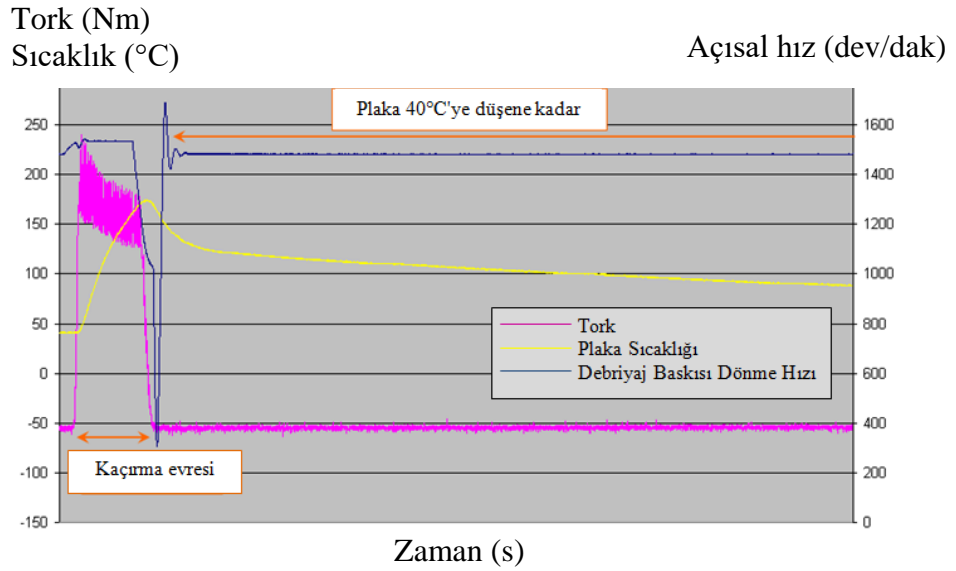
Debriyaj Enerji Testi

Debriyaj enerji testi, baskı plakası veya volan gibi döküm parçaların, zorlu tekrarlı kavrama şartlarında mekanik dayanımını teyit etmek için gerçekleştirilir. Şekil 3.27'de gösterilen deney düzeneği bu test için de aynıdır. Öncesinde patlama testi gerçekleştirilen ve bu testte başarılı olan ürünlerin, daha önce herhangi bir test şartına maruz kalmamış benzer örneklerine (aynı üretim şartları ve benzer kimyasal kompozisyon) enerji testi gerçekleştirilir. Test süresince tork, açısal hız, sıcaklık verileri kaydedilir. Debriyaj plakası sıcaklığı için Şekil 3.28'de gösterildiği gibi sıcaklık sensörü yerleştirilir. Tork ve hız değerleri ile Denklem 3.8'de verilen enerji hesabı yapılır. Böylece her kaçırma süresince test öncesi hedeflenen enerji seviyesi parçaya uygulanır. Şekil 3.32'de bir çevrim boyunca alınan verilerin gösterimi bulunmaktadır.

Test esnasında 3 farklı faz uygulanmaktadır;

1. faz 50 çevrim düşük enerji seviyesinin uygulandığı alıştırma fazı,
(Soğuma fazında plaka sıcaklığı 80°C'ye kadar düşürülür)
2. faz 10 çevrim yüksek enerji seviyesinin 4 katının uygulandığı termal şok fazı,
(Soğuma fazında plaka sıcaklığı 40°C'ye kadar düşürülür)
3. faz 10 çevrim yüksek enerji seviyesinin 6 katının uygulandığı termal şok fazıdır.
(Soğuma fazında plaka sıcaklığı 40°C'ye kadar düşürülür)

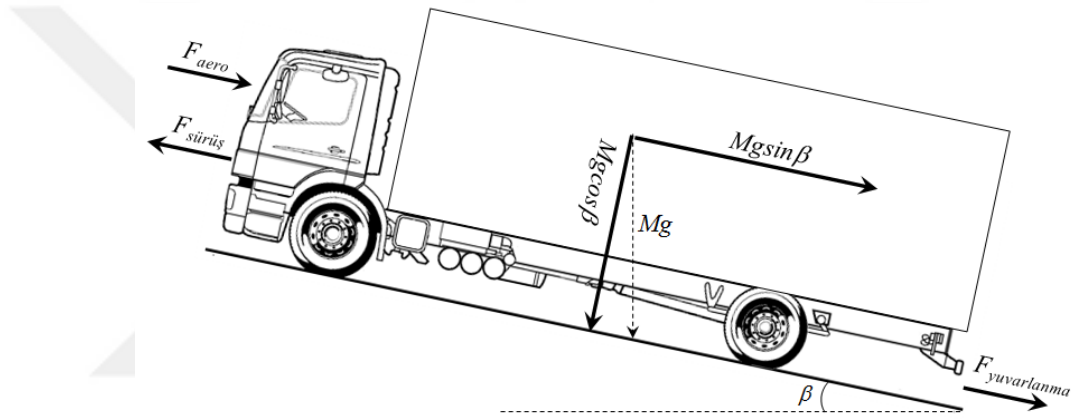
Enerji seviyesi balata imalatçıları tarafından yapılan deneysel çalışmalar neticesinde, dış çapına göre deneysel bir ifade ile tanımlanmıştır. Yüksek enerji seviyesi, düşük enerji seviyesinin 3 katıdır. Test sonrasında ise sürtünme yüzeyindeki çatlak veya gerçekleşiyse parçadaki kırılmalar ve sürtünme yüzeyi koniklik değişimi incelenir. Testin olumlu sonuçlanması için ölçüt, parçada çatlak veya kırık gerçekleşmemesi ve sürtünme yüzeyi koniklik değişiminin belirlenen limitler dahilinde olmasıdır.



Şekil 3.32. Debriyaj enerji testi - 1 çevrim örnek verisi

3.4.2. Araç Testleri

Araç testleri, tezgah test aşamalarını başarıyla geçmiş ürünlere uygulanan final doğrulama testleridir. Amaç, debriyajın araç üzerinde termal ve mekanik dayanımının doğrulanmasıdır. Test gerekli güvenlik önlemlerinin alındığı eğimli bir yolda gerçekleştirilir. Test ardışık ve tekrarlı duruş kalkış içerir ve her kalkış esnasında debriyaj enerji testi kısmında bahsi geçen yüksek enerji seviyesine ulaşılması hedeflenir. Bu hedefe, toplam araç kütlesi, yol eğimi, aracı hareket ettiren vites oranı ve araç kalkıştaki motor devri gibi parametreler yardımı ile ulaşılmaya çalışılır. Şekil 3.33'te araca etki eden kuvvetler gösterilmiştir.



Şekil 3.33. Araca etki eden kuvvetler

Newton'un ikinci kanununun araç hareketine uyarlanması ile (Kim ve Choi 2010);

$$F = M\ddot{x} \quad (3.15)$$

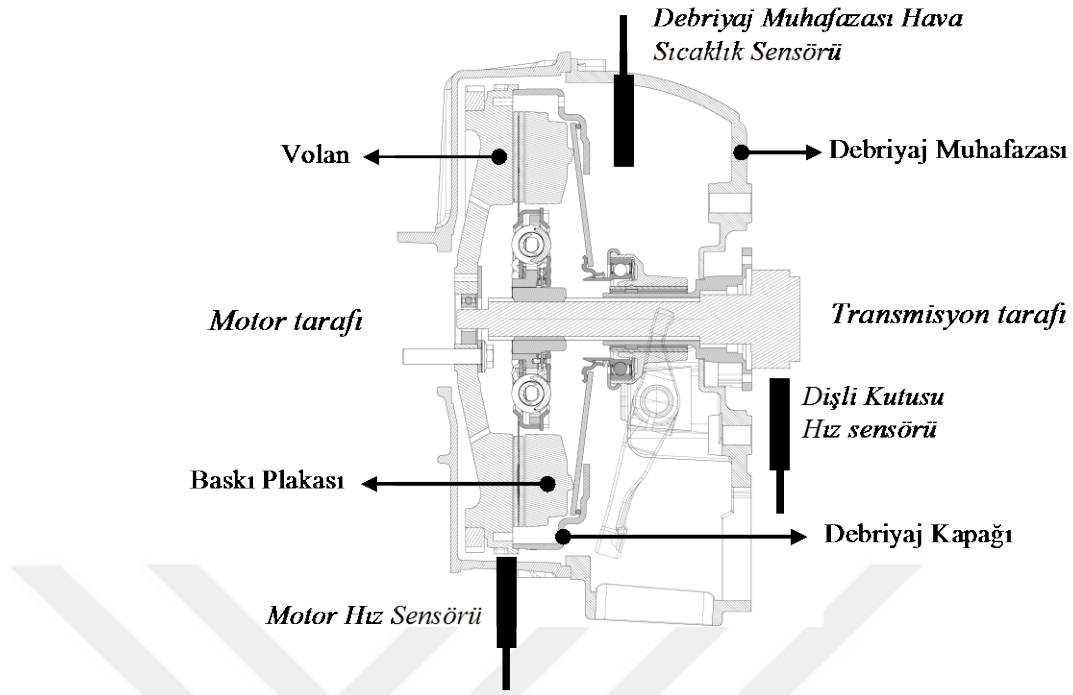
$$F_{sürüş} - F_{aero} - F_{yuvarlanma} - Mg \sin \beta = M\ddot{x} \quad (3.16)$$

$$F_{yuvarlanma} = C_R Mg \cos \beta, \quad F_{aero} = \frac{1}{2} \rho C_D A_F v_x^2$$

M aracın kütlesi, g yerçekimi ivmesi, β yol eğimi, C_R yuvarlanma direnç katsayısı, ρ havanın yoğunluğu, C_D aerodinamik direnç katsayısı, A_F aracın ön yüzey alanı, v_x aracın hızıdır. Aerodinamik kuvvetlerin ihmal edilmesi ile;

$$F_{sürüş} - F_{yuvarlanma} - Mg \sin \beta = M\ddot{x} \quad (3.17)$$

Araç testlerinde uygulanan sensör ekipmanı Şekil 3.34'te gösterilmiştir.



Şekil 3.34. Araç testi sensör ekipmanı

Araç testlerinde amaç, debriyaj muhafazası içerisindeki hava sıcaklığının test süresince değişiminin ve her çevrim için kavrama süresi ve açığa çıkan enerjinin elde edilmesidir. Debriyaj muhafazası içerisindeki hava sıcaklığı, rulmana (debriyaj bilyası) yakın bir bölgeden sıcaklık sensörü ile kaydedilmiştir (Şekil 3.34). Kavrama süresi, motor ve dişli kutusu için araca yerleştirilen hız sensörlerinin sağladığı veri ile elde edilmiştir.

Açığa çıkan enerji ise Denklem 3.8'de verilen eşitlik sayesinde hesaplanmıştır. Bu eşitlikte belirtilen hız farkları, hız sensörleri yardımı ile ölçülmüştür, debriyaj torku ise şu şekilde hesaplanır;

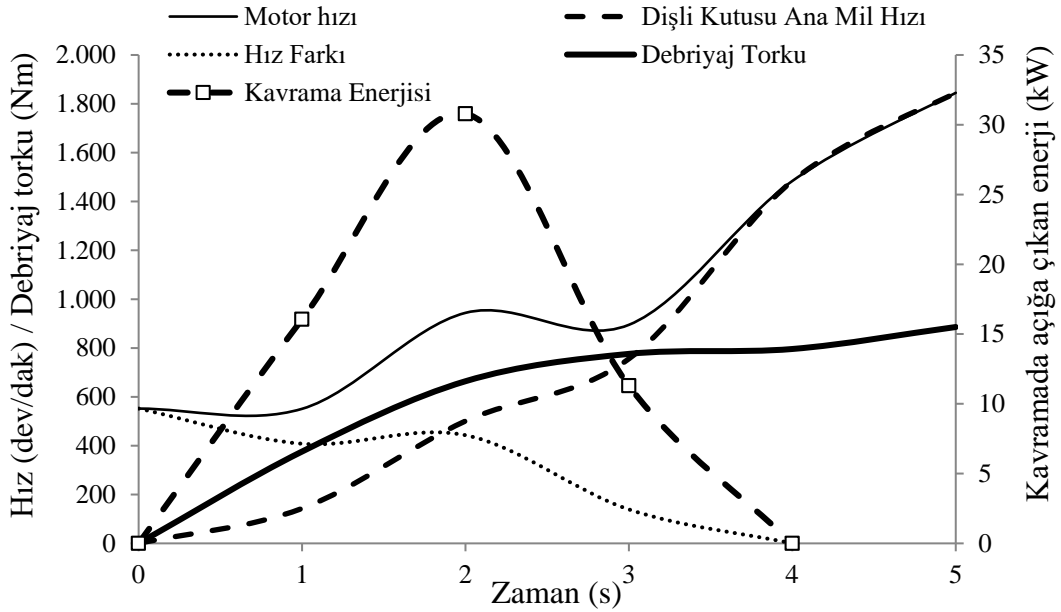
$$\Gamma_c = \frac{(M\ddot{x} + Mg\sin\beta + C_R Mg\cos\beta)xV_{1000}}{Rx120\pi} \quad (3.18)$$

V_{1000} aracın 1000 dev/dak motor devrine tekabül eden hızıdır (km/h), R transmisyon verimidir ve modern manuel transmisyonlarda açısız hız ve sıcaklığa bağlı olarak 0.9 ile 1.0 arasında değişir. Eğer aracın aksel ivmelenmesi \ddot{x} bir ivmeölçer ile ölçülmemiş ise şu şekilde hesaplanır;

$$\ddot{x} = \frac{V_{1000}}{120\pi} \dot{\omega} \quad (3.19)$$

burada ω açısal ivelenmedir ve hız sensörleri (Şekil 3.34) yardımıyla verisi alınır. Örnek bir kavrama süresince, sensörler yardımıyla alınan hız verileri ve formüller ile hesaplanan, açığa çıkan enerji (Denklem 3.8) ve debriyaj torkunun (Denklem 3.18) örnek verisi Şekil 3.35'te sunulmuştur.

Motor hızı ile transmisyon ana mili (prizdirek mili) senkronize oluncaya kadar geçen süreye (Manuel transmisyonlar için Şekil 3.26'da gösterilen gaz pedalına basılıp debriyaj pedalının bırakılması) “kavrama süresi” denir. Şekil 3.35'teki örnekte bu süreç 4 saniyedir. Bu süreçten sonra Denklem 3.8'de açığa çıkan enerjinin çarpanı olan hız farkları sıfıra düşmüş dolayısıyla açığa çıkan enerji de sıfırlanmıştır. Araç testleri boyunca her duruş kalkış esnasındaki kavramalar için Şekil 3.35'te gösterilen veriler elde edilir. Böylece ortalama kavrama süresi ve açığa çıkan enerji ile debriyaj muhafazası hava sıcaklık değişimi analiz edilir.



Şekil 3.35. Kavrama esnasındaki örnek debriyaj torku ve dönme hızları

Açığa çıkan enerji sürtünmeli parçalar arasında ısı iletkenlik k , yoğunluk ρ ve özgül ısı c_p gibi malzeme özelliklerine bağlı olarak yayılır (Denklem 3.20), genellikle volan ile debriyaj plakası benzer özelliklerde olduğundan enerjinin disk kompleksine yayılan kısmı (%6) dışındaki miktar, bu iki parça arasında eşit olarak bölünür (Levillain ve ark. 2015).

$$\alpha_i = \frac{E_i}{E_i + E_j} \quad (3.20)$$

$$E_i = \sqrt{k_i + \rho_i + c_{p_i}} \quad (3.21)$$

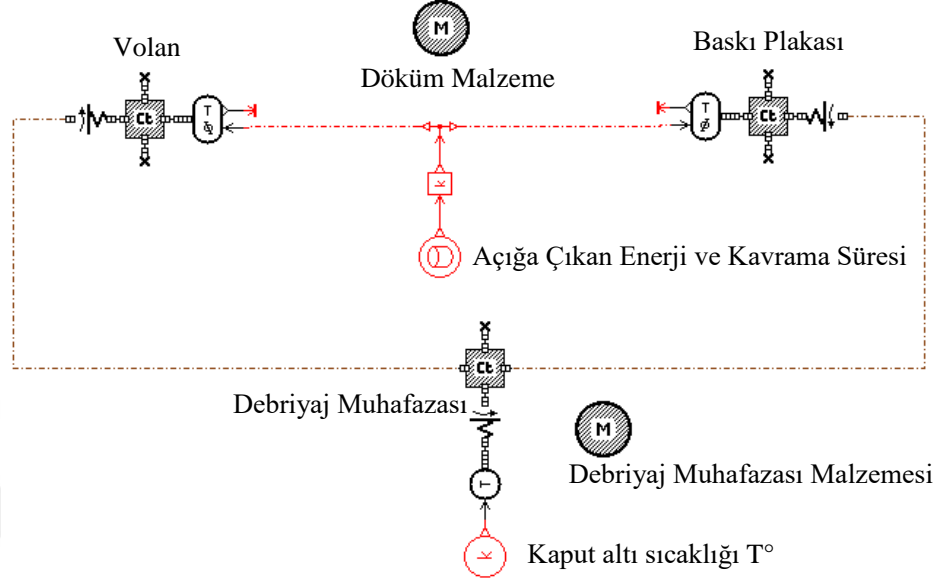
3.5. Sayısal Analizler

Sayısal analizlerde araç testleri ile elde edilen verilerin korelasyonu sağlanmıştır. Termo-mekanik iyileştirmenin yapılacağı plaka parçasının analizi için de korelasyonu yapılmış modellerden faydalanılmıştır. Kurulan bir boyutlu model ile etken parametrelerin sonuçları kısa sürede analiz edilmiştir; fakat kurulan bir boyutlu model ısı iletkenliği içermediğinden sürtünme yüzeyi sıcaklığı analiz edilememiştir. Parametrelerin analizi, kütle sıcaklığının değişimi ile değerlendirilmiştir. Bir boyutlu analizlere göre uzun süren fakat sürtünme yüzey sıcaklığının değerlendirilmesine imkan sağlayan üç boyutlu analizler ise zamana bağlı ısı analiz olarak tekil plakaya Ansys Workbench programı ile ve komple debriyaj sistemine ise Fluent programı ile HAD olarak gerçekleştirilmiştir. Tüm debriyaj parçalarının ve debriyaj muhafazası içerisindeki havanın da hesaba katıldığı hava-katı birleşik HAD analizi diğer analizlere göre en uzun süreç alan hesaplamadır. Araç testlerinin benzetiminin yapıldığı tüm sayısal analizlerde Şekil 3.1'de belirtildiği gibi araç testlerinde elde edilen kavrama süresi ve açığa çıkan enerji girdi olarak tanımlanmıştır. Yine deneysel olarak ölçülen plaka yüzeyi ile hava arasındaki ısı taşınım katsayısı da girdi olarak tanımlanan diğer bir parametredir. Araç testinin benzetimine ilave plakanın mekanik dayanımı doğrulamak için patlama analizleri de yapılmıştır. Sayısal analizlerin temel amacı prototipleme sürecindeki maliyet ve zamanın minimize edilmesini sağlamaktır. İteratif deneme yanılma yoluna kıyasla, sanal ortamdaki maliyetler daha az ve süreçler çok daha kısadır.

3.5.1. Bir Boyutlu Sistem Analizleri

Bir boyutlu sistem analizleri daha önce bazı araştırmacılar (Bataus ve Vasiliu 2012, Sorihan 2012) tarafından aktarma organları modellenmesinde kullanılan Amesim programı ile gerçekleştirilmiştir. Amesim programı içerisinde otomotiv uygulamaları için hazır kütüphaneler bulunmaktadır ve birçok parçanın tanımı halihazırda yapılmıştır.

Fiziksel parçaların matematiksel modellemesinin tanımlandığı programda, parçalar portlar yardımı ile birbirine bağlanıp tüm sistemin modeli kurulur (Şekil 3.36).



Şekil 3.36. Bir boyutlu modelin şematik gösterimi (Amesim)

Çizelge 3.4'te bir boyutlu analizde girdi olarak tanımlanan veriler sunulmuştur. Bir boyutlu analizlerin çıktısı, debriyaj muhafazası içerisindeki hava sıcaklığı ve plaka kütle sıcaklık değişiminin çevrim boyunca elde edilmesidir. Plaka başlangıç sıcaklığı 90°C olarak tanımlanmıştır.

Sıcaklık türevinin hesaplanması aşağıdaki gibidir;

$$dT/dt = \sum_{i=1}^n Q_i/mc \quad (3.22)$$

Depolanan enerjinin türevi ise;

$$dE/dt = \sum_{i=1}^n Q_i \quad (3.23)$$

Bir boyutlu sayısal analiz sonuçları ile araç testlerinin ölçümlerinin karşılaştırılması "Bulgular ve Tartışma" kısmında gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Bir boyutlu analizlerdeki girdiler

| | |
|----|---|
| 1 | Çevrim sayısı* |
| 2 | Çevrim süresi (s)* |
| 3 | Açığa çıkan enerji (kJ)* |
| 4 | Kavrama süresi (s)* |
| 5 | Motor ort. hızı (dev/dak)* |
| 6 | Motor rölanti hızı (dev/dak)* |
| 7 | Kaput altı sıcaklık (°C) |
| 8 | Volan kütlesi (kg) |
| 9 | Volan özgül ısı (J/kg°C) |
| 10 | Plaka kütlesi (kg) |
| 11 | Plaka özgül ısı (J/kg°C) |
| 12 | Debriyaj muhafazası ısı kapasitesi (J/°C) |
| 13 | Volan yüzeyi ile hava arasındaki ısı taşınım katsayısı (W/mm ² °C)* |
| 14 | Debriyaj muhafazası yüzeyi ile hava arasındaki ısı taşınım katsayısı (W/mm ² °C) |
| 15 | Plaka yüzeyi ile hava arasındaki ısı taşınım katsayısı (W/mm ² °C)* |

* Deneysel verilere dayanmaktadır.

3.5.2. Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar Analizleri

Üç boyutlu analizler ile parçanın iletim katsayısı da göz önünde bulundurulduğundan sıcaklık dağılımı incelenebilmiştir. Ansys Workbench (R16) programı kullanılmıştır. Üç boyutlu zamana bağlı termal analiz gerçekleştirilmiştir. Plaka sürtünme yüzeyine (*A_f* Şekil 3.37) ısı akısı uygulanmıştır. Plaka malzeme yoğunluğu 7200 kg/m³, özgül ısı ve iletkenliği ise sıcaklığa bağlı bir fonksiyon olarak tanımlanmıştır. Taşınım ile ısı transferi olan yüzeylere tanımlanan ısı taşınım katsayısı ise bölüm 3.4.1’de bahsi geçtiği üzere deneysel olarak ölçülmüştür. Her çevrim Ansys Workbench’de substep olarak adlandırılan alt adımlar ile tanımlanmıştır. Başlangıç sıcaklığı tüm yüzeylerde 90°C olarak tanımlanmıştır. Çözücü tipi program kontrollü seçilmiş ve ısı akısı yakınsaması 10⁻⁵ olarak tanımlanmıştır. Çizelge 3.5’te analizlerdeki girdiler sunulmuştur.

Çizelge 3.5. Üç boyutlu analizlerdeki girdiler

| | |
|----|--|
| 1 | Çevrim sayısı* |
| 2 | Çevrim süresi (s)* |
| 3 | Kavrama süresi (s)* |
| 4 | Plaka yoğunluk (kg/m ³) |
| 5 | Plaka özgül ısı (J/kg°C) |
| 6 | Plaka yüzeyi ile hava arasındaki ısı taşınım katsayısı (W/mm ² °C)* |
| 7 | Plaka ısı iletim katsayısı (W/mm ² °C)* |
| 8 | Isı akısı (W/m ²)* |
| 9 | Plaka başlangıç sıcaklık (°C) |
| 10 | Debriyaj muhafazası hava sıcaklık değişimi (°C)* |

* Deneysel verilere dayanmaktadır.

Eğer sınır şartları ve özellikler sıcaklığa ve zaman bağlı değişiyor ise, sistem nonlineerdir ve uygun algoritma ile çözülmelidir (Ansys 2016).

$$[C(T)]\{\dot{T}\} + [K(T)]\{T\} = \{Q(T, t)\} \quad (3.24)$$

Burada $[C(T)]$ spesifik ısı matrisi, $[K(T)]$ iletkenlik matrisi, $\{T\}$ nodal sıcaklık vektörü, $\{\dot{T}\}$ sıcaklığın zamana bağlı türevi ($\partial T / \partial t$), $\{Q(T)\}$ uygulanan ısı akışları ve t de zamandır.

Isıl enerjiyi ileten ve depolayan sistemde, ısı iletkenliğe k ilave olarak, yoğunluk ρ , özgül ısı c_p malzeme özellikleri de tanımlanmalıdır. Bu malzeme özellikleri her bir elemanın ısı depolama karakteristiklerinin hesaplanmasında kullanılır ve daha sonra $[C]$ özgül ısı matrisinde birleştirilirler. Sınır şartları Şekil 3.37’de gösterilmiştir. Şekil 3.37’de A_f ısı akısının uygulandığı sürtünme yüzeyi, T_f sürtünme yüzey sıcaklığı, T_s taşınım ile ısı transfer yüzey alanı sıcaklığı ($T_s = T_f = 90^\circ\text{C}$ başlangıç sıcaklıkları), A_c taşınım ile ısı transfer yüzey alanı, q_h ısı akısı ve şu şekilde tanımlanır;

$$q_h = \frac{E}{2A_f t_s} \quad (3.25)$$

Burada E Denklem 3.8’de verilen kavrama sürecinde açığa çıkan enerjidir. Plaka ve volan malzemesinin aynı olması durumunda (Denklem 3.21) disk kompleksine yayılan enerji ihmal edilerek 2’ye bölünmüştür. A_f sürtünme yüzey alanı ve t_s ise deneysel olarak ölçülen kavrama süresidir.

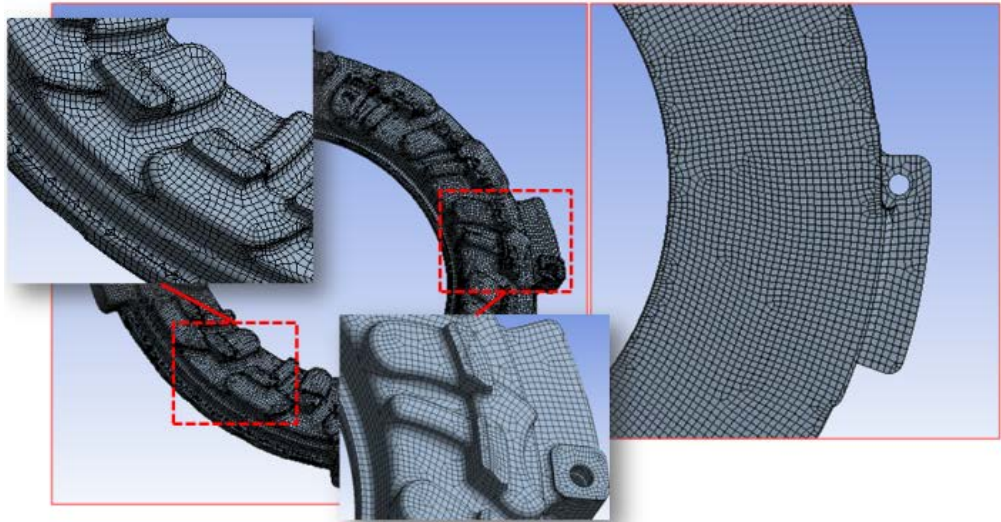


Şekil 3.37. Üç boyutlu analizlerdeki sınır şartları (Ansys Workbench)

Ağ yapısı ortalama 275000 eleman içermektedir ve hexagonal dominant metodu kullanarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.38). İç ısı oluşumu olmayan üç boyutlu geçici ısı iletimi problemi şu şekilde ifade edilir (Mouffak ve Bouchetaran, 2016);

$$-\frac{\partial q_x}{\partial x} - \frac{\partial q_y}{\partial y} - \frac{\partial q_z}{\partial z} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3.26)$$

q_x , q_y ve q_z sırasıyla x , y ve z yönlerinde iletimle ısı akılarıdır, c_p özgül ısı, ρ yoğunluk ve T koordinat ve zamanla (t) değişen sıcaklıktır.



Şekil 3.38. Üç boyutlu analizlerdeki ağ yapısı (Ansys Workbench)

İletim ısı akışları, Fourier kanunu kullanılarak sıcaklık şeklinde yazılabilir. Sabit ve tekdüze termal özellikler varsayılarak iletken ısı akışı ilişkileri:

$$q_x = -k_x \frac{\partial T}{\partial x}, q_y = -k_y \frac{\partial T}{\partial y}, q_z = -k_z \frac{\partial T}{\partial z} \quad (3.27)$$

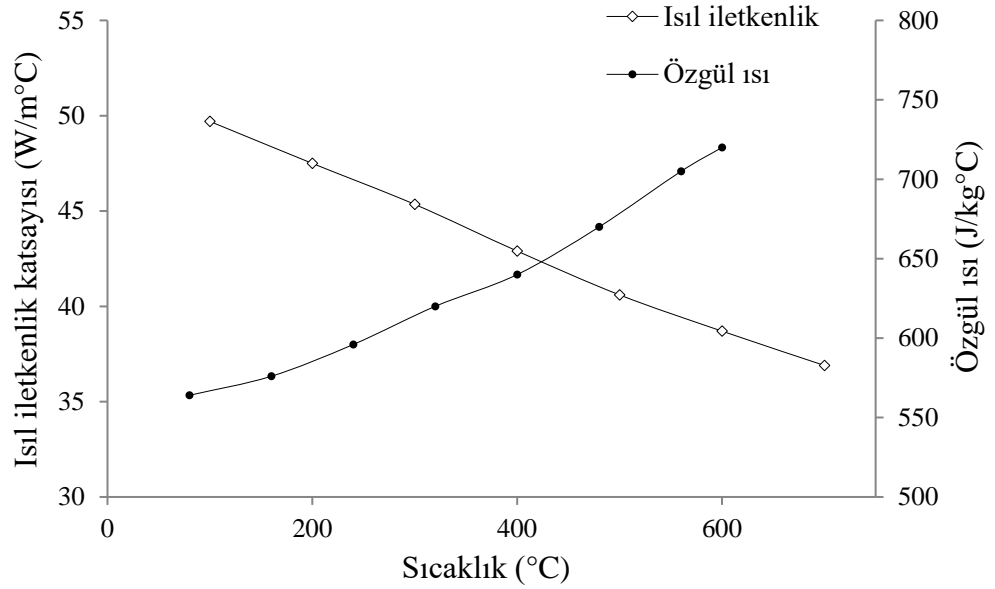
k_x , k_y ve k_z , sırasıyla x , y ve z yönlerinde termal iletkenliktir. Bu çalışmada, tüm yönlerde aynı değere sahip olduğu varsayıldı ve sıcaklık fonksiyonu olarak tanımlandı, Şekil 3.39.

Debriyaj plakasından taşınım ile ısı transferi için sınır şartları;

$$T_s = T(x, y, z, t) \quad (3.28)$$

$$-q_s = h(T_s - T_\infty) \quad (3.29)$$

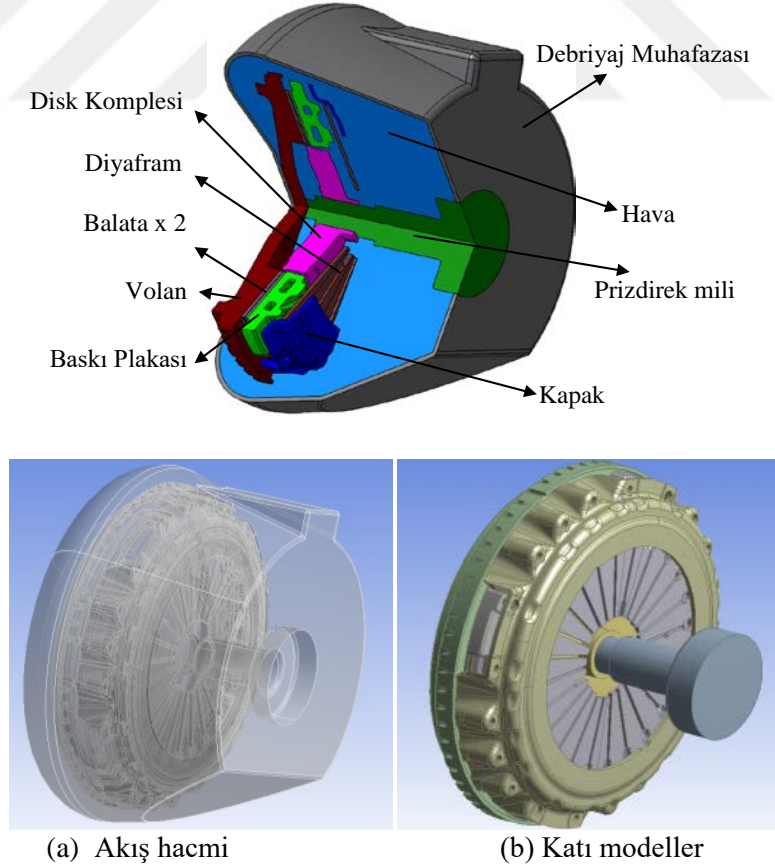
T_s yüzey sıcaklığı, başlangıç değeri 90°C , h ısı taşınım katsayısı ve T_∞ debriyaj muhafazası hava sıcaklığı, q_s belirtilen yüzey ısı akısı (bir yüzeye doğru pozitif) olarak tanımlandı. h , T_∞ ve q_s , daha önce açıklandığı gibi deneysel olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.39. Debriyaj plakasının ısı iletkenliği ve özgül ısısı (Malzeme GJL300)

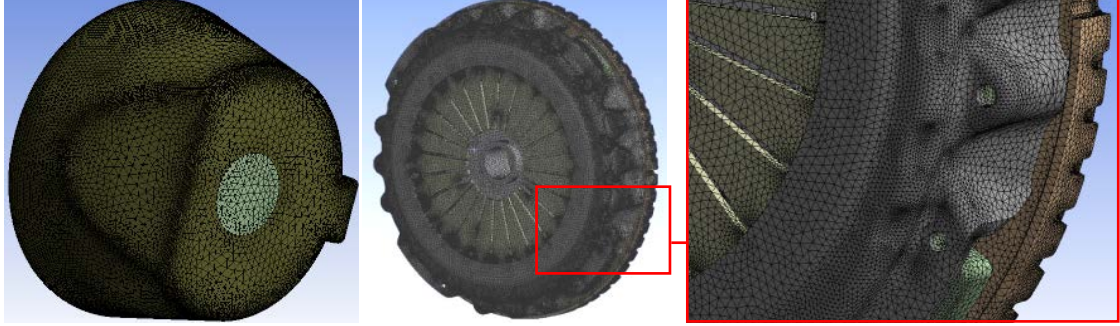
3.5.3. Üç Boyutlu Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Analizleri

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yaklaşımında öncelikle, bu çalışmada kullanılan bir kavrama sisteminin katı-akışkan birleşik termal modeli oluşturulmuştur. HAD modeli kısmen sadeleştirilmiş 9 katı ve bir akışkan hacim olarak tanımlanan on farklı kısım içeriyordu (Şekil 3.40). Günümüzde HAD analizi için birçok ticari yazılım paketi mevcuttur. Geliştirilmiş bilgisayar teknolojisi ve HAD teknikleriyle, yeterli doğruluk ve kabul edilebilir sonuçlarla sayısal hesaplamalara dayalı karmaşık mühendislik sistemlerinin analizi artık araştırmacılar için mümkündür. Bu çalışmada, üç boyutlu akış ve ısı transferi alan analizi için Ansys Fluent yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım doğal taşınım etkileri ile sayısal olarak sürekli, enerji ve taşıma denklemlerini çözme yeteneğine sahiptir (Ansys 2012). HAD yönteminin ilk adımı, katı parçaların CAD modellerinden hava alanı yaratmaktır. Bu adımda, içindeki birçok bileşeni içeren disk düzeneği kısmen sadeleştirildi. Bir sonraki adımda, kesin sonuçlar almak ve bilgi işlem sürelerini azaltmak için zamana bağlı hesaplamalar için bir ağ yapısı oluşturuldu.



Şekil 3.40. Katı-Akışkan birleşik HAD modeli

Katı parçaların yüzeylerinin ağ yapısının kesit görünümü ve ağ dağılımı Şekil 3.41’de gösterilmiştir. Ağ modeli 9.106 tetrahedron elemandan oluşur.



Şekil 3.41. Katı-Akışkan birleşik HAD modelinin ağ yapısı

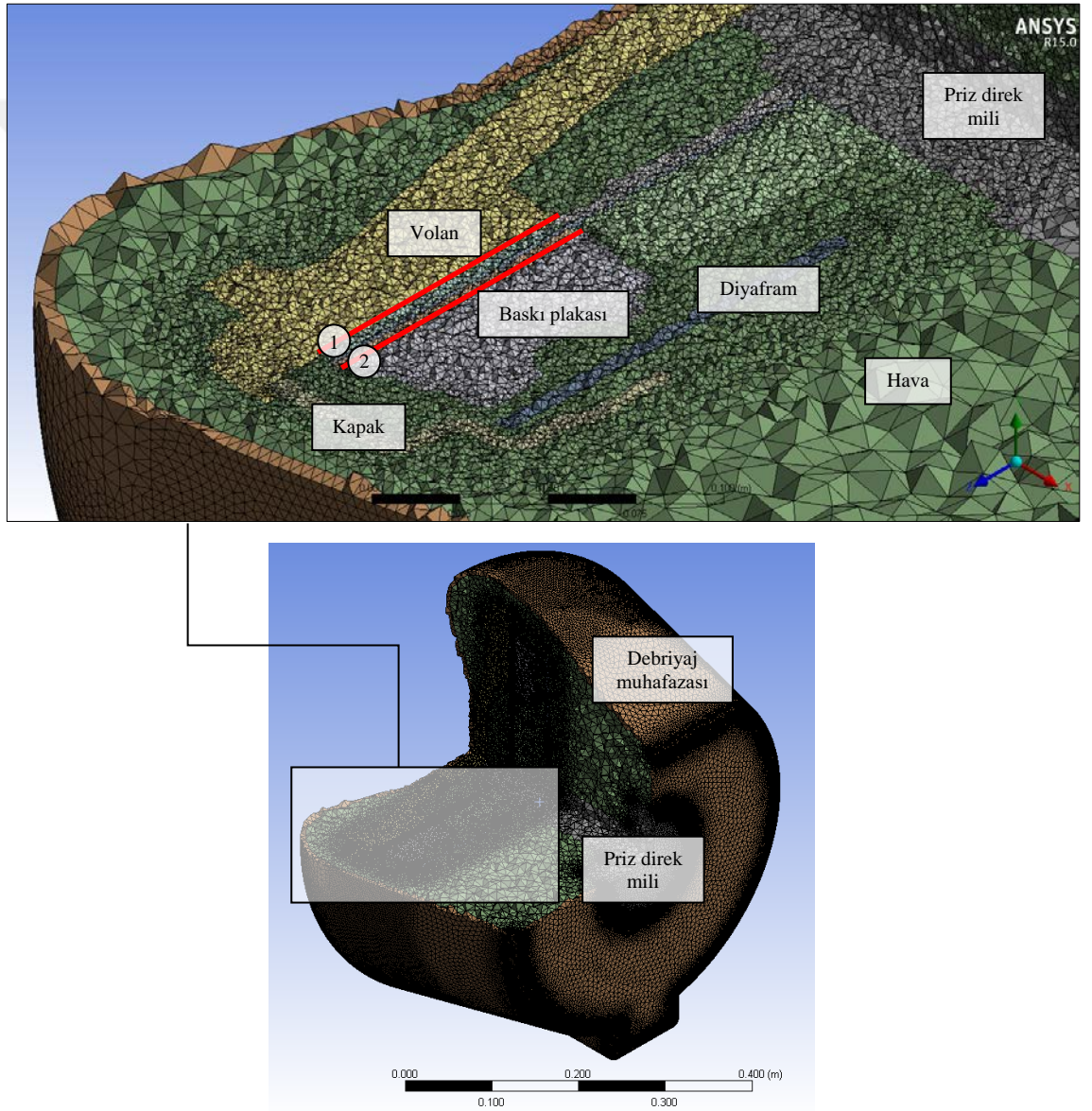
HAD analizinin bir sonraki adımı, sayısal çözüm için uygun sınır koşullarını tanımlamaktır. Tanımlanan malzeme özellikleri deneysel çalışmalara dayanmaktadır. HAD modelimizde, Çizelge 3.6’da açıklandığı gibi üç farklı malzeme tanımlanmıştır. Bu malzemelerin termal özellikleri, sayısal analiz sırasında sıcaklık ile değişir. Kapak, disk kompleksi, prizdirek mili ve diyafram parçasının malzemesi çelik, balataların malzemesi kompozit, debriyaj muhafazası, volan ve baskı plakasının malzemesi ise dökme demir olarak tanımlandı.

Çizelge 3.6. HAD analizlerindeki malzeme tanımı

| <i>Parça</i> | <i>Malzeme</i> | <i>Özellik $f(T)$</i> |
|--|----------------|----------------------------------|
| Kapak, Disk kompleksi, Prizdirek mili, Diyafram | Çelik | ρ [kg/m ³] |
| Balata | Kompozit | c_p [J/kgK] |
| Volan, Baskı plakası, Debriyaj muhafazası | Dökme Demir | k [W/mK] |

Akış hacmi, Ansys Fluent materyal kütüphanesinde listelenen hava olarak tanımlandı. Baskı plakasının ve volan yüzeylerinin sürtünme yüzeyleri başlangıç sıcaklığı 90°C olarak kabul edildi. Diğer tüm parçalar ve hava hacmi başlangıç 80°C olarak kabul edildi. Türbülans modellemesi ve süreklilik, momentum ve enerji denklemleri hesaplamalar sırasında aynı anda çözülen k- ω SST modeli seçildi. Dönen parçaların modellenmesi için tek döndürme referans çerçevesi (single rotating reference frame) yöntemi kullanılmıştır ve debriyaj muhafazası sabit olan tek parçadır. Diğer tüm

parçalar, dönen parçalar olarak kabul edildi. Akış hacmi için, değişken bir dönme hızına sahip çerçeve hareketi kullanıldı. Dönme hızının değerleri ve bu parçalara uygulanan süre önceki deneysel araç testlerine dayanmaktadır. Katı hacim için, debriyaj yuvası olmayan tüm parçalar, kayma durumu olmaksızın komşu hücre bölgesine göre sabit duvar olarak tanımlandı ve dönme hızı 0 dev/dak olarak kabul edildi. Baskı plakası ile balata arasındaki göreceli hız göz ardı edildi. Eşit ısı akısı, döküm parçalar (baskı plakası ve volan) ve balata arasındaki temas yüzeylerine (Şekil 3.42 (1) – volan ve balata temas yüzeyi, (2) – Baskı plakası ve balata temas yüzeyi) uygulanmıştır.



Şekil 3.42. Katı-Akışkan birleşik HAD modelinin ağ yapısı

Taşınımınla ısı transfer sınır şartı, hem debriyaj muhafazasının kaput altındaki ortam havasıyla temas eden dış yüzeylerine, hem de debriyaj parçalarının debriyaj muhafazasının içerisindeki ortam havasıyla temas eden dış yüzeylerine tanımlanmıştır. Akış denklemlerinin normalleştirilmiş kalıntı değerleri yakınsaması 10^{-4} ve enerji denklemleri yakınsaması 10^{-6} olarak tanımlanmıştır.

3.6. Termo-mekanik İyileştirme

Oldukça rekabetçi bir pazarda, kamyon verimliliği giderek müşterilerin ana satın alma kriterleri haline geliyor. Yakıt tüketimi, ağır vasıta kamyon ile ilişkili tüm doğrudan ve dolaylı maliyetlerin tahmin edilmesinde en etkili faktördür (Şekil 3.22). Aracın kütlesini azaltmak, doğrudan araç verimliliğini ve yakıt ekonomisini geliştirir ve potansiyel olarak araç işletme maliyetlerini düşürebilir. Düşük maliyetli ve hafif malzemeler güvenlikten ödün vermeden araç kütlesini önemli ölçüde azaltabilir (Anonim 2012). Baskı plakaları bir debriyaj sisteminin en ağır parçasıdır. Bu bileşenin ağırlığının azaltılması maliyet ve yakıt tasarrufunun düşürülmesine yardımcı olacaktır. Disk yüzeylerine karşı bir sürtünme yüzeyine sahip debriyaj baskı plakası malzemesi, termal kapasitesi, aşınma direnci ve düşük maliyet nedeniyle gri dökme demirdir. Otomotiv frenlerine benzer şekilde, debriyajlar da sık sık sürtünmeye maruz kalmaktadır. Sıcaklık artışı, trafik sıkışıklığında birbiri ardına tekrarlayan kavramalar gerçekleştiğinde olur. Zor koşul örneği, eğimli bir yamaç yolundaki römorkla sürüş olabilir. Debriyaj parçalarının malzeme özellikleri sıcaklığa bağlı olduğundan ve aşırı ısınmadan olumsuz etkilendiğinden, baskı plakasında termal çatlaklar gibi birçok kavrama arızası yüksek çalışma sıcaklığında oluşabilir (Fernandes ve ark. 2015). Aşırı yüksek çalışma sıcaklığı, balataların aşınmasına (Sai Balaji ve Kalaichelvan 2012) ve dağılmasına (Gene 2007) sebep olabileceken, kavrama torkunun iletilebilirliği üzerine de (Orzelowski ve Wicher 2000) olumsuz bir etkiye sahiptir.

Havalandırma kanalları yıllarca fren disklerine uygulanmıştır. Bununla birlikte, kısıtlı tasarımı nedeniyle debriyaj baskı plakasına uygulanmamıştır. Öte yandan, havalandırma kamyon debriyajı baskı plakasına ilişkin daha önceki sayısal çalışma daha iyi soğuma performansı göstermiş ve muhtemelen debriyajın servis ömrünü uzatmıştır (Kilic ve ark. 2016). Havalandırma kanallarının tasarımının optimizasyonu, toplam ısı transfer katsayısını artırabilir (Nejat ve ark. 2011). Dökme demirin ısı

transfer katsayısı, diğer tasarım kriterlerinden ödün vermeksizin arttırılabilirse, performansı arttırılabilir (debriyaj için Çakmak ve Kılıç 2017 ve fren için Adamowicz 2016). Havalandırma kanalları ile taşınımla ısı transferinin iyileştirilmesine ek olarak iletkenlik veya termal difüzyivite, metalürjik yapı değişikliği ile geliştirilebilir (Angus 1978). Termal Difüzyivite, ısı yayılımının iletkenlik hızını tanımlayan bir termo fiziksel özelliğidir: termal yayılma oranı arttıkça ısı yayılımı da o kadar hızlı olur. Termal difüzyivite α , özgül ısı kapasitesi c , yoğunluk ρ ve termal iletkenlik k ile ilişkilidir ve şu şekilde ifade edilir;

$$\alpha = k/c\rho \quad (3.30)$$

Gri dökme demirin olağan mikro yapısı, grafit pulları boyunca dağılan bir perlit matrisidir. Grafit parçalarının boyutu, miktarı ve dağılımı ve grafit etrafındaki matris metalinin görelî sertliğı, dökme demirin özelliklerini etkiler (Grote and Antonsson 2009). Katılma sırasındaki kompozisyon ve soğuma hızı, metalürjik yapı üzerindeki ana faktörlerdir (Davis 1996) ve bunların düzenlenmesi, dökme demirin yorulma ömrünü artırabilir (Goo and Lim 2012). Daha yavaş soğuma ve daha yüksek karbon ve silikon içeriğı, daha yumuşak bir matris yapısı olan daha fazla ve daha büyük grafit pulları üretme eğilimi gösterir ve gücü zayıflatır. Soğuma oranının grafit pul boyutuna etkisi, Hecht ve ark. (1996), Hecht (1999) ve Adedayo (2013) tarafından daha önce çalışılmıştır. Bu çalışmalarda, mikro yapıdaki daha uzun grafit pullarının, difüzyivite ve iletkenlik artışı sağladığı gösterilmiştir. Maluf ve ark. (2009), alaşım elementlerinin termal difüzyivite üzerindeki etkisini incelemiştir ve otomobil endüstrisi ekonomisi için elektron hareketi bariyer elemanı molibdeni ortadan kaldırmayı önermiştir.

Literatürde görüldüğü gibi debriyaj teknolojisinde havalandırma kanalları hiç uygulanmamıştır. Bu çalışmada, ağırlık düşümüne ek olarak debriyaj baskı plakasının taşınım ve iletimle ısı transferini arttırmak için tasarım ve malzeme özellikleri araştırılmıştır. Tasarımda, ağırlık azaltmak ve taşınımla ısı transferini arttırmak için döküm plakasına havalandırma kanalları uygulanmıştır. Malzemedede, ısı iletiminin geliştirilmesi için kimyasal bileşim ayarlanmıştır.

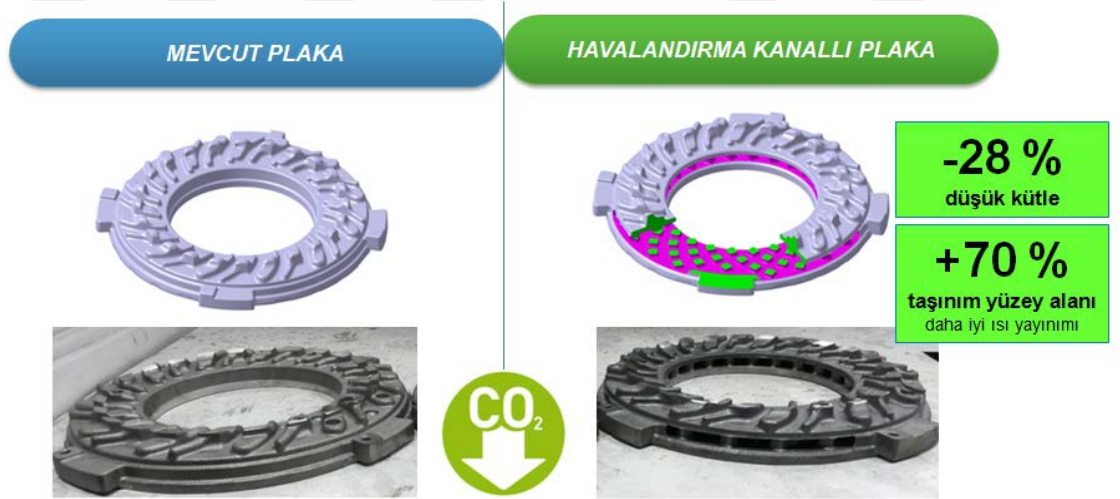
3.6.1. Taşınım İle Isı Transfer Artımı

Tüm hafif malzemeler yüksek maliyetle ağırlık azaltma potansiyeli sunar (Heuss ve ark. 2012). Bu çalışmada ise, geleneksel plaka tasarımına, havalandırma kanalları hem ağırlığını azaltmak için hem de debriyaj plakasından havaya taşınım ile ısı transferini arttırmak amacı ile uygulandı. Bu değişiklik ağırlıkta %28 azalmayla neticelendi (Şekil 3.43). Döküm parçaların maliyeti ağırlıklarına bağlı olduğundan ötürü, havalandırma kanallarının sağladığı kütle düşümü beraberinde, maliyet düşüşü de sağladı.

Taşınım ile ısı transferi şu şekilde tanımlanır;

$$Q_c = hA_c(T - T_\infty) \quad (3.31)$$

burada A_c taşınım ile ısı transfer yüzeyi, T baskı plakası yüzey sıcaklığı, T_∞ ise çevreleyen havanın sıcaklığı, h plaka yüzeyi ile hava arasındaki ısı taşınım katsayısı, Q_c ise taşınım ile ısı transferidir. Taşınım ile ısı transfer yüzeyi, plakanın balata ile sürtünme yüzeyi hariç diğer tüm yüzeylerini ifade eder. Çizelge 3.7’de geometrik özelliklerin kıyaslaması gösterilmiştir.



Şekil 3.43. Geleneksel ve havalandırma kanallı plaka

Çizelge 3.7. Geleneksel ve havalandırma kanallı plaka özellikleri

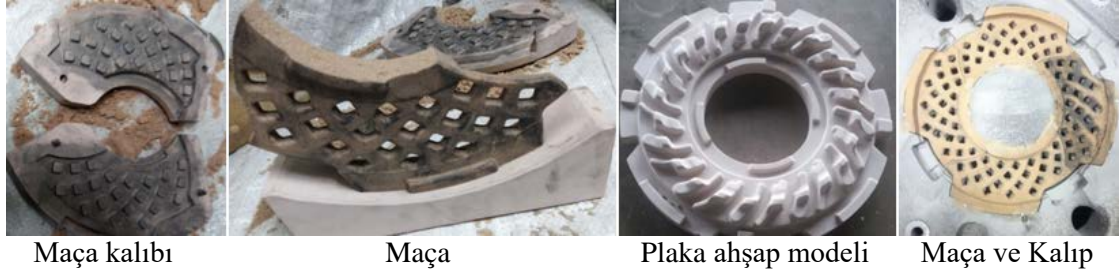
| | <i>Geleneksel</i> | <i>Havalandırmalı</i> | <i>Fark %</i> |
|---------------------------------------|-------------------|-----------------------|---------------|
| Çap (mm) | 430 | 430 | - |
| İşlenmiş kütle (kg) | 25.40 | 18.18 | - %28 |
| Taşınım yüzey alanı (m ²) | 0.216 | 0.367 | + %70 |

Havalandırma kanallarının geleneksel tasarıma eklenmesi için öncelikle ekonomik çözüm olan, harcanan model yöntemi denenmiştir (Şekil 3.44). Bu yöntemde modelin birebir aynısı strafor köpük ile elde edilmiş, döküm kum kalıbında ise boşlukların doldurulması amaçlanmıştır. Bu yöntemde bir model ile ancak bir kez üretim yapılabilmektedir.



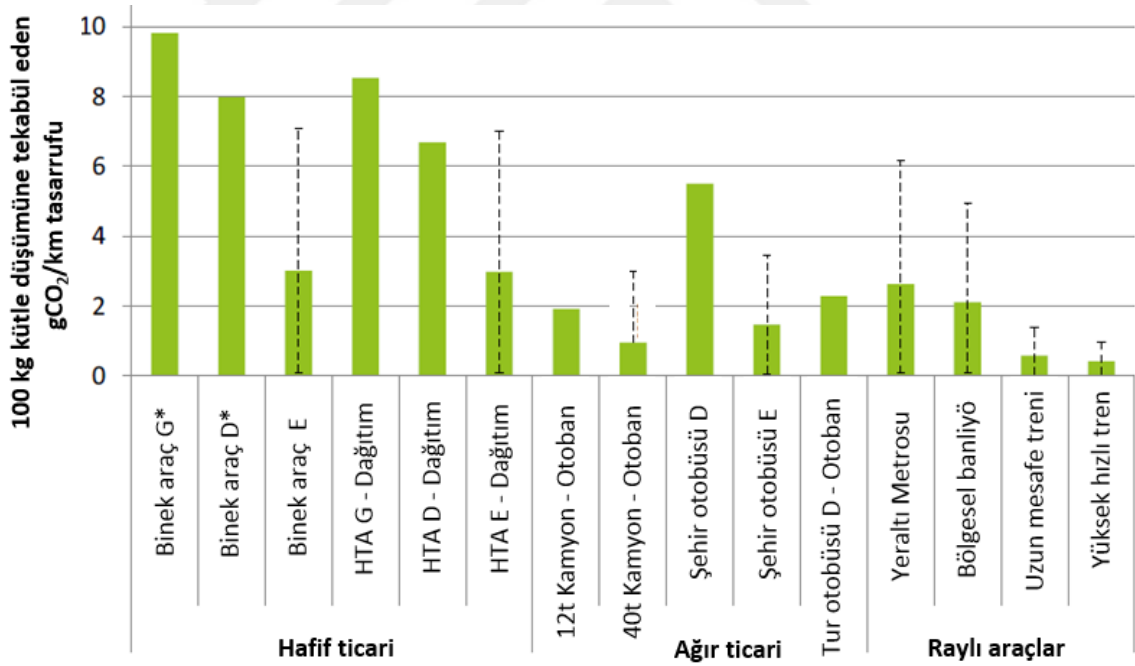
Şekil 3.44. Harcanan model yöntemi

Harcanan model yöntemiyle üretim aşamalarında problemlerle karşılaşmış ve alternatif maçalı model yöntemi üzerine prototip üretim denemelerine devam edilmesi kararlaştırılmıştır (Şekil 3.45). Maçalı model yönteminde aynı modeller ile birden fazla ürün üretmek mümkündür. Havalandırma kanalları boşluklarının oluşmasını sağlayan maça modeli kanalların ¼'ü şeklinde tasarlanmıştır. Yapılan üretim denemelerindeki tecrübelerle dayanarak bütün maça modeli önerilmektedir. Çünkü maça kumlarının arasındaki boşluktan malzeme akışı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.45. Maçalı model döküm yöntemi

Geleneksel tasarıma havalandırma kanallarının eklenmesi, sadece taşınım yüzeyinin artırılması vasıtasıyla taşınım ile ısı transferinin artırılması değil, aynı zamanda sağladığı 7 kg'lık kütle düşümüyle, hayatı boyunca 1.2 milyon km yapan 100.000 adet 40 ton ve üzeri ağır vasıta araçları gözetildiğinde, CO₂ salınımlarında toplamda 18 kiloton azalma sağlayacaktır (Helms ve Kräck 2016). Bu verinin değerlendirmesinde Şekil 3.46'da gösterilen araçlardaki 100 kg kütle düşümü ile CO₂ emisyonlarındaki sağlanacak düşüş değeri göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 3.46. Araçlarda 100 kg kütle düşümünün CO₂ emisyon düşümüne etkisi (Helms ve Kräck 2016)

3.6.2. İletimle Isı Transfer Artımı

Yapılan prototip çalışmalarında tasarım ve malzeme olarak iki konu ele alınmıştır. Tasarımda havalandırma kanalları eklenerek hem ağırlık azaltma hem de taşınım ile ısı transferi artırılması amaçlanırken, malzeme de ise kimyasal kompozisyon ayarlanması ile termal difüzyon iyileştirmesi hedeflenmiştir. Termal difüzyonu artırma amacı ile 3 farklı havalandırma tasarımı prototipi geliştirildi. Prototipler; Çizelge 3.8’de B, C ve D olarak gösterilmiş ve kimyasal kompozisyon detayları verilmiştir. Prototipler, kimyasal bileşim bakımından farklılık arz etmektedir. Katılma esnasında soğuma hızı etkisini gidermek için, üretimde aynı kalıp kum bileşimi kullanılmıştır. Her dökme demir alaşımının kimyasal bileşimi bir optik emisyon spektrometresi üzerinde belirlendi. Termal difüzyon hızını (yayılmayı) doğrusal olarak etkileyen karbon eşdeğeri (CE) de analiz edildi (Hecht 1999). Karbon eşdeğeri (CE), şu şekilde ifade edilir;

$$CE = \%C + 1.3 (\%Si + \%P) \quad (3.32)$$

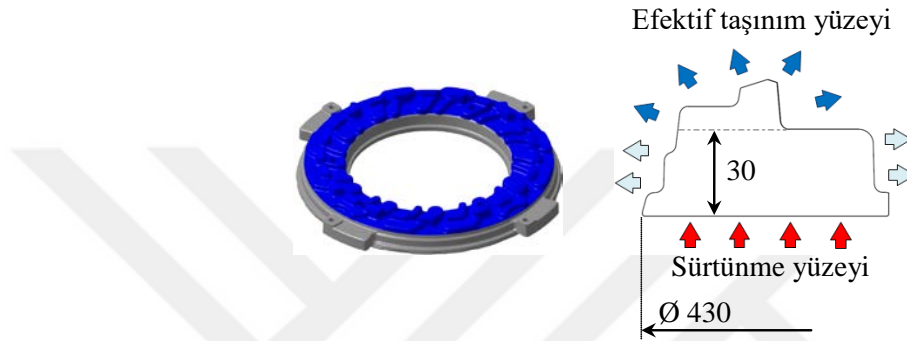
Çizelge 3.8. Geleneksel ve havalandırma prototip ürün kimyasal kompozisyonları, %

| | <i>Geleneksel</i> | <i>Havalandırma B</i> | <i>Havalandırma C</i> | <i>Havalandırma D</i> |
|----------------------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| C | 3.21 | 3.45 | 3.93 | 3.73 |
| Mn | 0.59 | 0.68 | 0.85 | 1.27 |
| P | 0.015 | 0.05 | 0.029 | 0.0758 |
| S | 0.095 | 0.01 | 0.062 | 0.839 |
| Si | 1.90 | 2.64 | 2.66 | 2.03 |
| Cu | 0.45 | 0.26 | 0.513 | 0.579 |
| Ni | - | 0.02 | 0.008 | 0.008 |
| Cr | 0.068 | 0.06 | 0.157 | 0.519 |
| Karbon Eşdeğeri | 3.84 | 4.34 | 4.82 | 4.43 |

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Tezgah Testi ile Plaka Yüzeyi ile Hava Arasındaki Isı Taşınım Katsayısının Tayini

Bölüm 3.4.1’de detayı verilen plaka ile hava arasındaki ısı taşınım katsayısı tayininin tezgah testleri, aynı çapta fakat efektif taşınım yüzey alanı bakımından farklı üç baskı plakası için değişik dönme hızlarında gerçekleştirildi. Efektif taşınım yüzey tanımını Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Baskı plakası efektif taşınım yüzeyi tanımı

Taşınım yüzeyindeki farklılık, plakanın kompaktlığında (m^{-1}) değişikliğe neden olur. Plaka kompaktlığı c , efektif taşınım yüzey alanının A_{ceff} , toplam hacme V bölünmesi olarak ifade edilebilir;

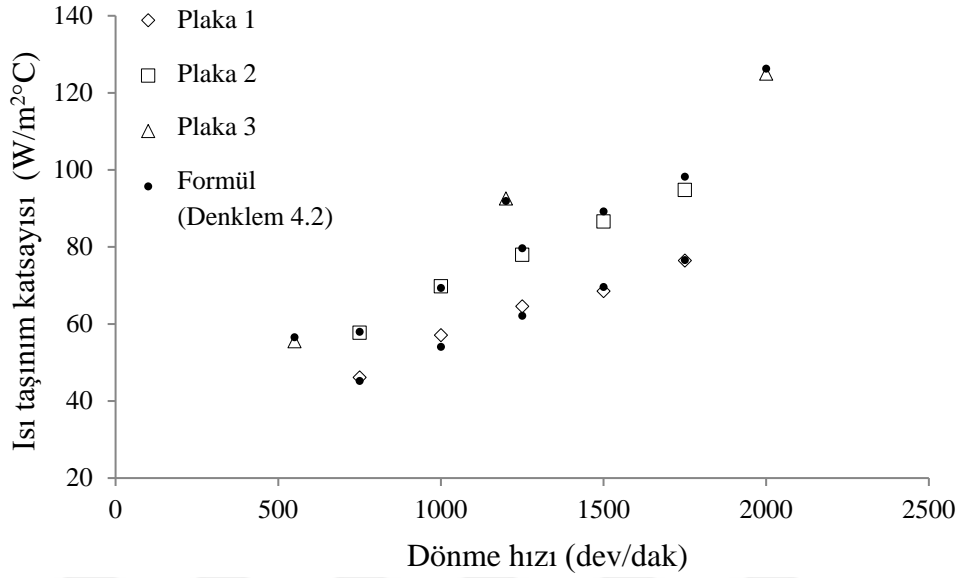
$$c = \frac{A_{ceff}}{V} \quad (4.1)$$

Tezgah testi ile ısı taşınım katsayısı ölçümü yapılan plakaların fiziksel özellikleri Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Plakaların fiziksel özellikleri

| Özellik | Plaka 1 | Plaka 2 | Plaka 3 |
|---------------------------------------|---------|---------|---------|
| Efektif taşınım yüzey alanı (m^2) | 0.110 | 0.109 | 0.130 |
| Kompaktlık (m^{-1}) | 31.49 | 34.98 | 37.56 |
| Kütle (kg) | 28.60 | 21.86 | 25.13 |
| Çap (mm) | 430.0 | 430.0 | 430.0 |

Ölçüm sonuçları Şekil 4.2’de verilmiştir. Isı taşınım katsayısı, kompaktlık ve dönme hızındaki artış ile artmaktadır. Plaka 1 ve 2'nin sonuçları analiz edildiğinde kompaktlıktaki % 10'luk artışın, aynı dönme hızı için ısı taşınım katsayısında en az %25 artış sağladığı görülmektedir.



Şekil 4.2. Ø430 çap baskı plakaların yüzeyi ile hava arasındaki ısı taşınım katsayısı ölçümleri

Minereau (1988), 254 mm çapa (binek otomobil uygulamaları) kadar olan debriyaj baskı plakaları yüzeyi ile hava arasındaki ısı taşınım katsayısını, dönme hızı ve ortalama sürtünme yarıçapının bir fonksiyonu olarak formüle etmiştir. Bu çalışmada, literatürden farklı olarak, ağır vasıta debriyajı baskı plakası yüzeyi ile hava arasındaki ısı taşınım katsayısı, Şekil 4.2’de gösterilen deneysel verilere dayanılarak, Denklem 4.3’te ifade edildiği gibi kompaktlık ve dönme hızının bir fonksiyonu olarak formüle edilmiştir. Önerilen fonksiyonun kullanılmasıyla, 430 mm çaplı baskı plakaları yüzeyi ile hava arasındaki ısı taşınım katsayısı h , aşağıda tarif edildiği gibi öngörülebilir;

$$Nu = hD / k \quad (4.2)$$

Burada Nu boyutsuz Nusselt sayısı, D dış çap ve k çevreleyen havanın iletim katsayısıdır ve değerleri sırasıyla 430 mm ve $0.03 \text{ Wm}^{-1}\text{°C}^{-1}$ ’dir.

Nusselt sayısı, plaka kompaktlığı ve yine boyutsuz Reynolds Re sayısına bağlı olarak şu şekilde ifade edilebilir (Kilic 2017);

$$Nu = a (c/c_{min})^p Re^m \quad (4.3)$$

Burada bilinmeyen a , p ve m katsayıları (Kilic 2017) tarafından genetik algortima tabanlı kod kullanarak belirlenmiştir;

$$a = 0.232$$

$$p = 2.366$$

$$m = 0.622$$

Minitab ve Matlab programları da bu tür bilinmeyen sabitlerin tespitinde yardımcı olabilmektedir. Plaka kompaktlığı c , Denklem 4.1'de gösterilmiştir ve c_{min} Çizelge 4.1'de gösterildiği üzere 31.49 m^{-1} 'dir. Boyutsuz Reynolds sayısı Re ise dönme hızı N (dev/dak), debriyaj plakası çap D (mm) ve havanın kinematik viskozitesine ν (m^2/s) bağlı olarak şu şekilde ifade edilebilir;

$$Re = (N \pi D^2)/(60 \nu) \quad (4.4)$$

Böylece, bu çalışmada yüksek torklu ağır vasıta araçlarında çok sık kullanılan 430 mm çapındaki debriyaj plakaları yüzeyi ile hava arasındaki ısı taşınım katsayısı için, maliyetli prototip ve tezgah testi öncesi, tasarım aşamasında, tasarıma ve dönme hızına bağlı olarak öngörülecek bir formül sunulmuştur (Denklem 4.3). Şekil 4.2'deki sonuçlar tekrarlanabilir ve deneyler farklı test tezgahlarıyla doğrulanabilir.

4.2. Eğimli Yolda Tekrarlı Araç Kalkış Testleri

Bölüm 3.4.2'de detayı verilen eğimli yolda araç kalkış testlerinde, kavrama esnasında açığa çıkan enerji, debriyaj parametrelerinden bağımsızdır. Açığa çıkan enerji, araç motor torku, dişli oranları, tekerlek yarıçapı, araç kütlesi ve yol eğiminden etkilenir. Diğer etkili parametre, manuel şanzımanlardaki değişken sürüş stilidir (senkronizasyondaki motor devri); sürücüler her bir kavrama işleminde aynı sürede debriyajı kavratamaz (debriyaj pedalını her zaman aynı sürede serbest bırakamazlar). Gaz pedalına basıldığında, motor torku, volan ve baskı plakası üzerinde balatalar tarafından oluşturulan sürtünme torku ile motor devrinin rölanti hızının üstünde olması

ve aracın hareket etmesini sağlayan değere ulaşır (Karadere ve ark. 2010). Araç testi, Şekil 3.34'te gösterilen sensör enstrümantasyonu ile izelge 4.2'de gösterildiği gibi c farklı araç konfigürasyonu için gerçekleştirildi. Şanzıman konfigürasyonları, sürücü ve dolayısıyla sürüş stili ve debriyaj baskı plakası tasarımı bu testlerde birbirinden farklıdır.

Çizelge 4.2. Araç testi bilgileri

| <i>zellik</i> | <i>Araç Testi 1</i> | <i>Araç Testi 2</i> | <i>Araç Testi 3</i> |
|--------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Motor torku (Nm) | 1300 | 2500 | 2500 |
| Araç kütlesi (kg) | 32000 | 40000 | 41000 |
| Lastik yarıçapı (mm) | 504 | 504 | 504 |
| 1. Dişli oranı | 16.4 | 13.8 | 16.7 |
| Diferansiyel dişli oranı | 4.63 | 3.08 | 2.47 |
| Yol eğimi | % 10 | % 10 | % 10 |
| Transmisyon | MT* | MT* | OMT** |

*MT; Manuel Transmisyon, **OMT; Otomatikleştirilmiş Manuel Transmisyon

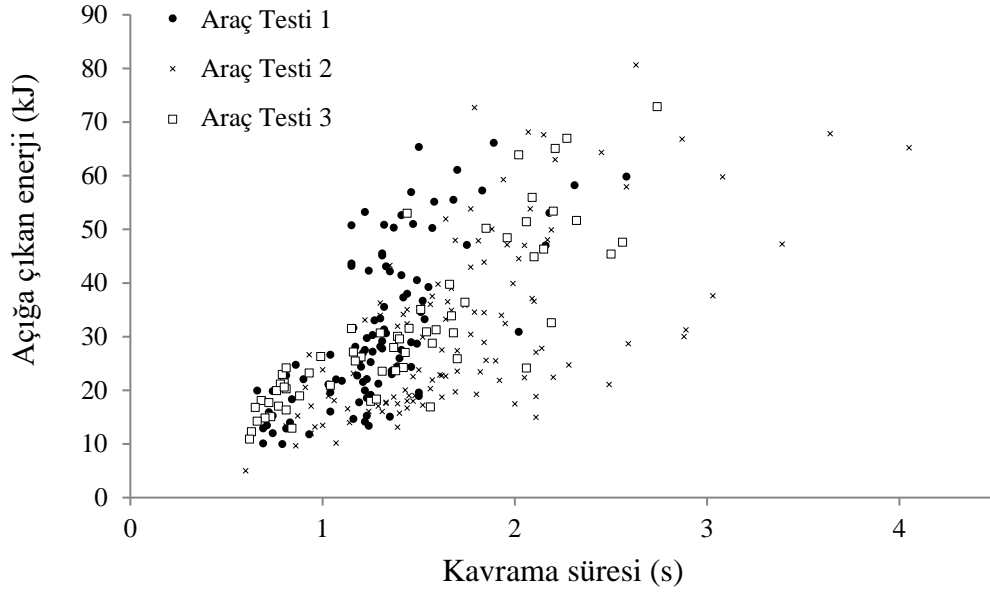
c araç testinin çevrim başına ortalama kavrama süresi ve açığa çıkan enerji verileri izelge 4.3'te gösterilmektedir. Her bir çevrimin dağılımı Şekil 4.3'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.3. Araç testlerinde kavrama süresi ve açığa çıkan enerji

| <i>zellik</i> | <i>Araç Testi 1</i> | <i>Araç Testi 2</i> | <i>Araç Testi 3</i> |
|------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Sürücü | A | B | C* |
| evrim sayısı | 100 | 120 | 64 |
| Ort. kavrama süresi (s) | 1.28 | 1.73 | 1.40 |
| Ort. açığa çıkan enerji (kJ) | 30.93 | 31.55 | 31.00 |

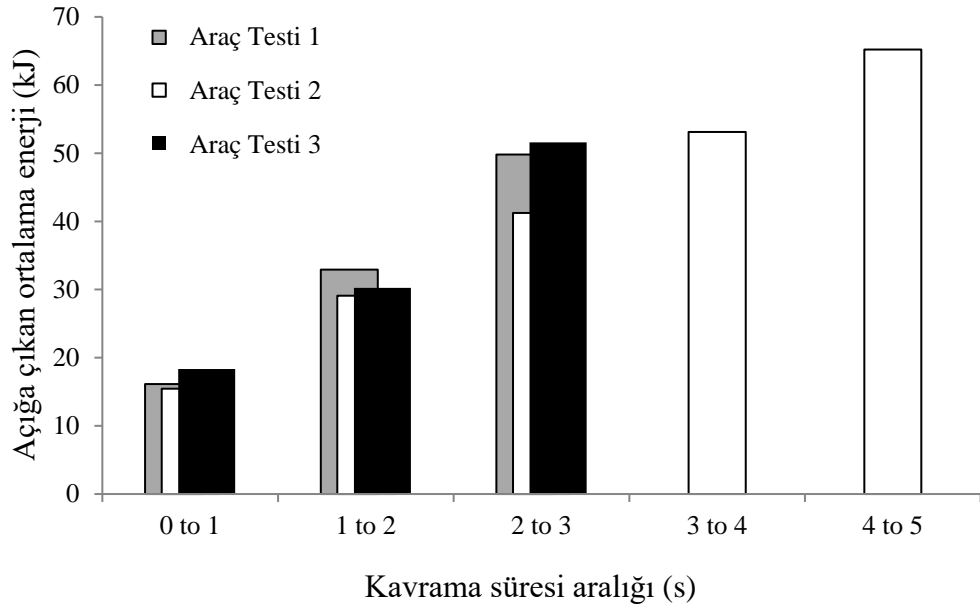
*OMT Transmisyon – Debriyaj pedalı yok – Kavrama süresi sürücü kontrollü değil

c farklı araç testi için, ortalama enerji dağılımı birbirine yakındır ve kavrama süresi 0.6 ile 4.05 saniye arasında değişir. Sonuçlara göre kavrama esnasında, maksimum enerji dağılım değeri 80.64 kJ iken, süreç azaltılarak 5 kJ'e kadar düşürmek mümkündür.



Şekil 4.3. Araç testlerinde kavrama süresi ve açığa çıkan enerji dağılımı

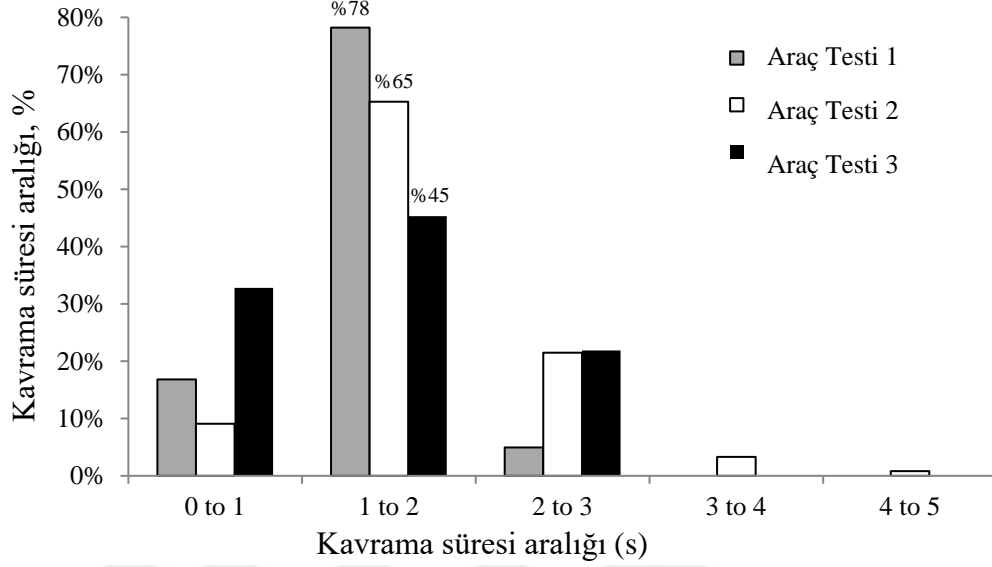
Şekil 4.4'te gösterildiği gibi, açığa çıkan enerji miktarı, kavrama süresi arttıkça yükselir. Ölçüm sonuçları Denklem 3.8 tanımıyla uyumludur.



Şekil 4.4. Araç testlerinde kavrama süresi aralığı başına açığa çıkan ortalama enerji

Kavrama süresi aralığının tüm çevrimlerde değerlendirilmesinde, sürücülerin kontrolündeki manuel uygulamalar ve otomatikleştirilmiş şanzıman uygulamasında da en yüksek oranın 1 – 2 saniye aralığına tekabül ettiği ve bu aralığın, 3 farklı araç testinin

tüm çevrimleri (284 çevrim) göz önünde bulundurulduğunda, %65 gibi yüksek bir orana sahip olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.5).

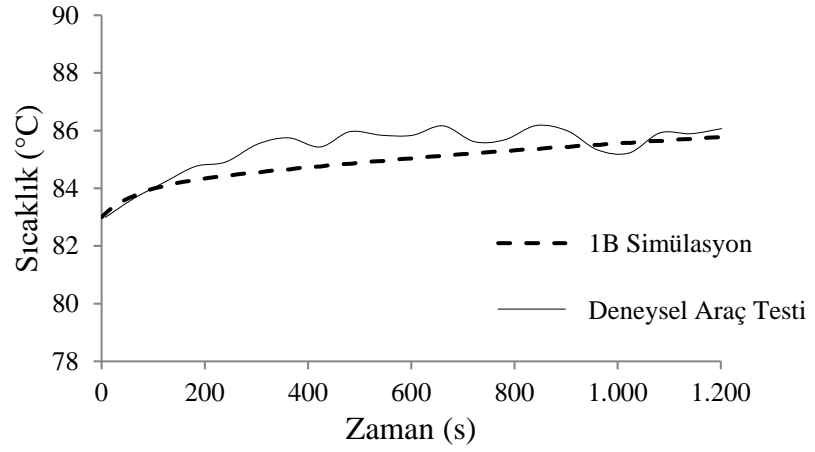


Şekil 4.5. Araç testlerinde kavrama süresi aralığının tüm çevrimlere oranı

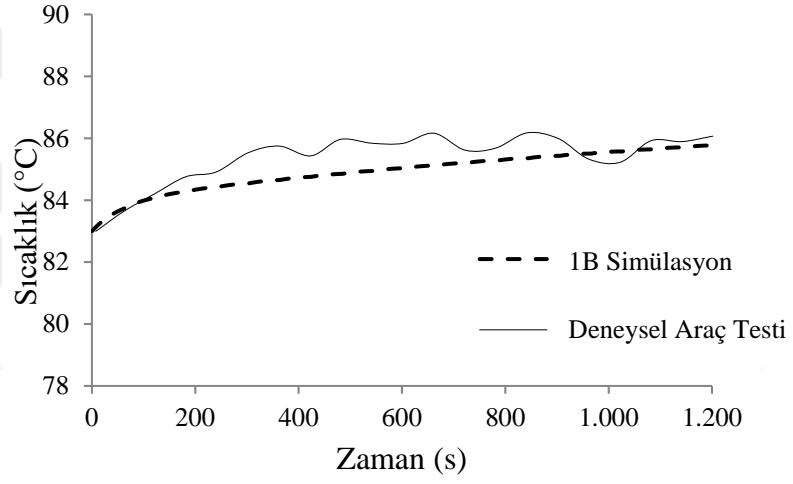
Araç testlerinde elde edilen diğer önemli veri, Şekil 3.34'te sensör ekipmanı gösterilen, test boyunca debriyaj muhafazası içerisindeki hava sıcaklığının değişimidir. Araç testleri boyunca debriyaj parçalarının ve özellikle sürtünme yüzeyindeki sıcaklık değişiminin verisi ise sensör yerleştirme limitleri dolayısıyla alınamamıştır. Bunların öngörüsü için sayısal analizler kullanılmıştır. Bir sonraki kısım olan Bölüm 4.3'te anlatılan sayısal analizler, aracın ardışık duruş kalkışında debriyajın çevrim ömrü, sürtünme yüzeyinde ulaşılan maksimum sıcaklık seviyeleri gibi önemli veriler sunmaktadır.

4.3. Araç Testleri ile Sayısal Analizlerin Karşılaştırılması

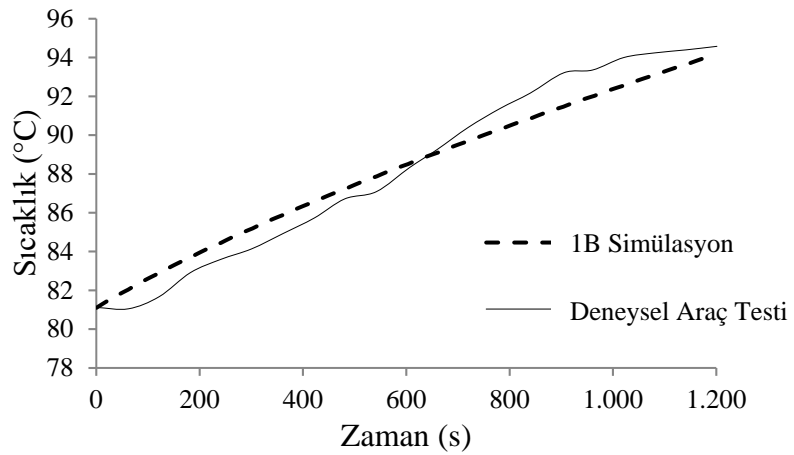
Sayısal analizler ile araç testlerinin korele edilebilecek verisi, test boyunca debriyaj muhafazası içerisindeki havanın sıcaklık değişimidir (sensör ekipmanı Şekil 3.34). Bunun için öncelikle Bölüm 3.5.1'de anlatılan bir boyutlu sistem analiz çıktısı ile araç test verileri ilk 20 çevrim için karşılaştırılmıştır (Şekil 4.6).



(a) Araç Testi 1



(b) Araç Testi 2



(c) Araç Testi 3

Şekil 4.6. Debriyaj muhafazası hava sıcaklığı değişimi

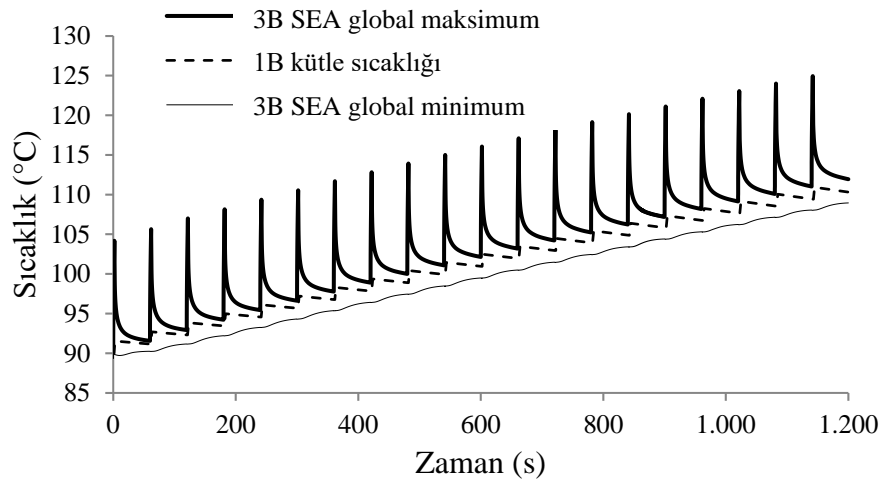
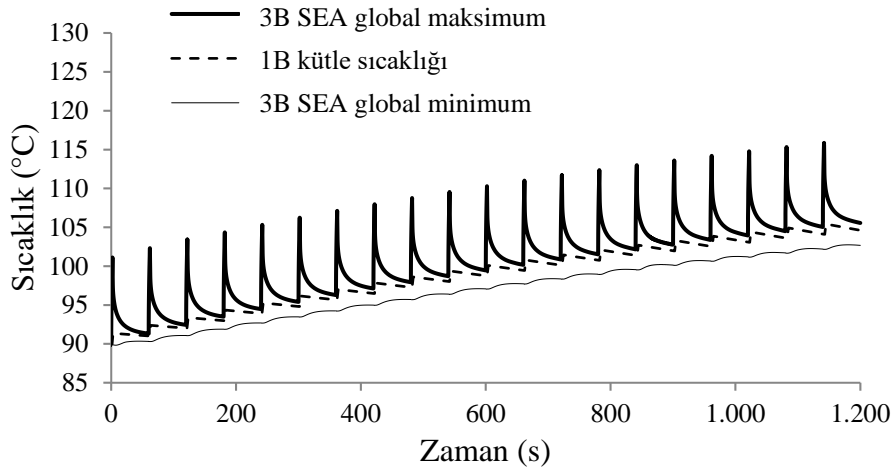
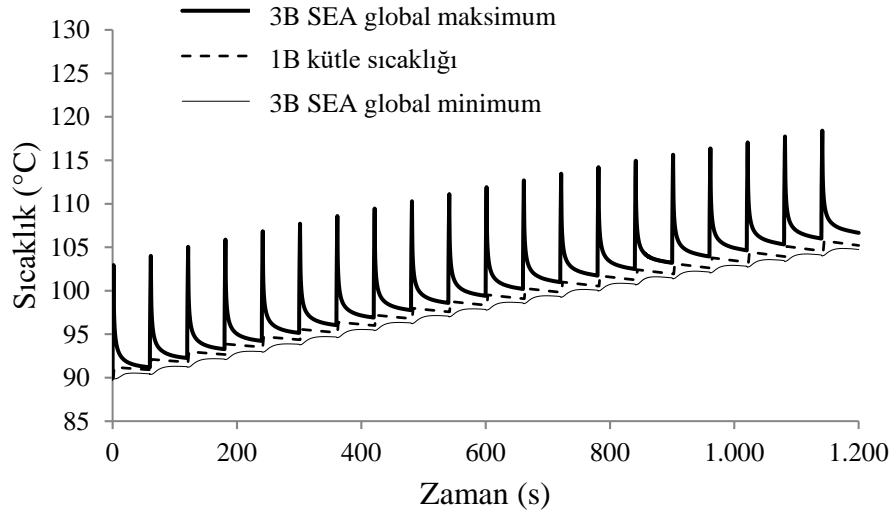
Bölüm 3.5.1’de bahsi geçen, bir boyutlu sayısal analizlerin diğer çıktısı plakanın kütle sıcaklığı ise, Bölüm 3.5.2’de anlatılan, üç boyutlu sonlu elemanlar analizlerinin çıktısı ile karşılaştırılmıştır. Burada gözlemlenen, bir boyutlu analiz çıktısı plaka kütle sıcaklığının üç boyutlu sonlu elemanlar çıktısındaki plaka minimum ve maksimum sıcaklık aralığında olduğudur (Şekil 4.7). Bu aynı zamanda, üç boyutlu analizin deneysel ölçümler ile korele olduğunun göstergesidir.

Çizelge 4.4’te üç araç testinin ilk 20 çevrimi için gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizlerindeki girdi verileri gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Üç boyutlu sonlu elemanlar analizlerinin girdi verileri

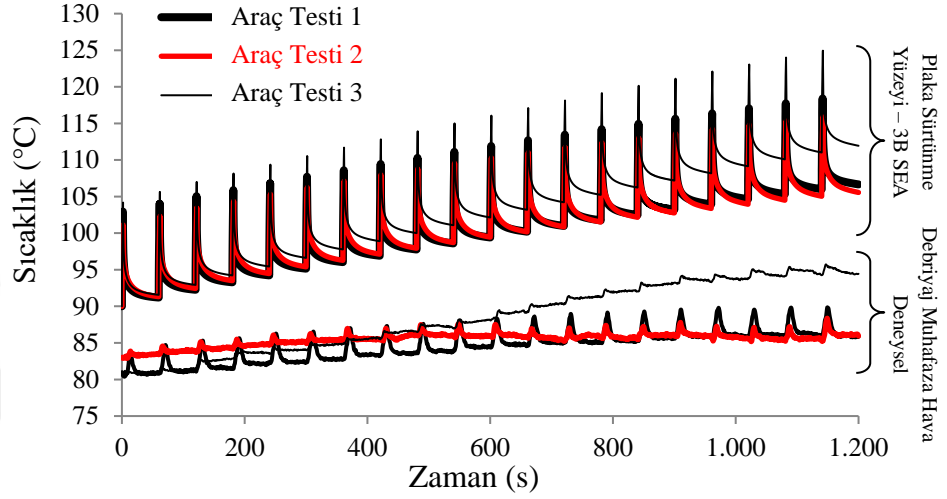
| <i>Özellik</i> | <i>Araç Testi 1</i> | <i>Araç Testi 2</i> | <i>Araç Testi 3</i> |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|
| Çevrim sayısı | 20 | 20 | 20 |
| Çevrim süresi (s)* | 60 | 60 | 60 |
| Ort. kavrama süresi (s)* | 1.51 | 1.94 | 1.86 |
| Plaka kütlesi (kg) | 28.60 | 21.86 | 24.25 |
| Plaka yoğunluğu (kg/m ³) | 7200 | 7200 | 7200 |
| Plaka yüzeyi ısı taşınım katsayısı (W/m ² °C)* | 39.3 | 49.3 | 45.7 |
| Plaka özgül ısı (J/kg°°C) | Şekil 3.38 | Şekil 3.38 | Şekil 3.38 |
| Plaka iletim katsayısı (W/m°°C) | Şekil 3.38 | Şekil 3.38 | Şekil 3.38 |
| Isı akısı (W/m ²)* | 125000 | 100690 | 132000 |
| Başlangıç plaka sıcaklığı (°C) | 90 | 90 | 90 |
| Deb. muh. hava sıc. değişimi (°C)* | Şekil 4.8 | Şekil 4.8 | Şekil 4.8 |

* Deneysel verilere dayanmaktadır.



Şekil 4.7. Debriyaj baskı plakası sıcaklık değişimi

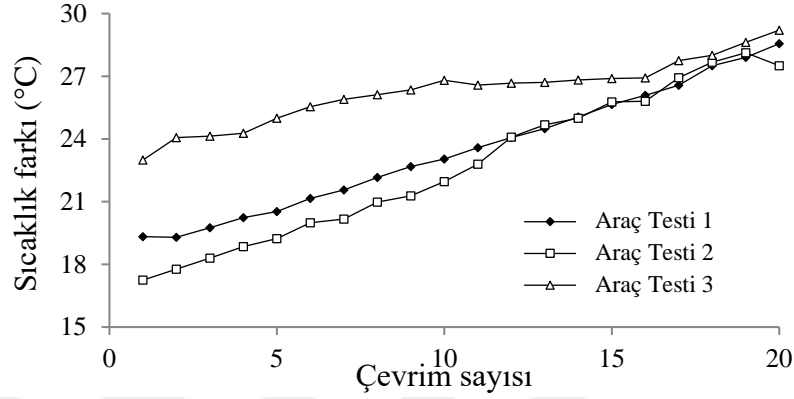
Şekil 4.8’de üç boyutlu analizlerin girdisi olan, deneysel veriler ile elde edilmiş debriyaj muhafazası içerisindeki hava sıcaklığının (Şekil 3.34) ve sayısal analizlerin çıktısı olan plaka sürtünme yüzey sıcaklığının değişimi, üç farklı araç testi için bir arada gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Araç testlerinde plaka sürtünme yüzeyi ve debriyaj muhafazası içerisindeki havanın sıcaklık değişimi

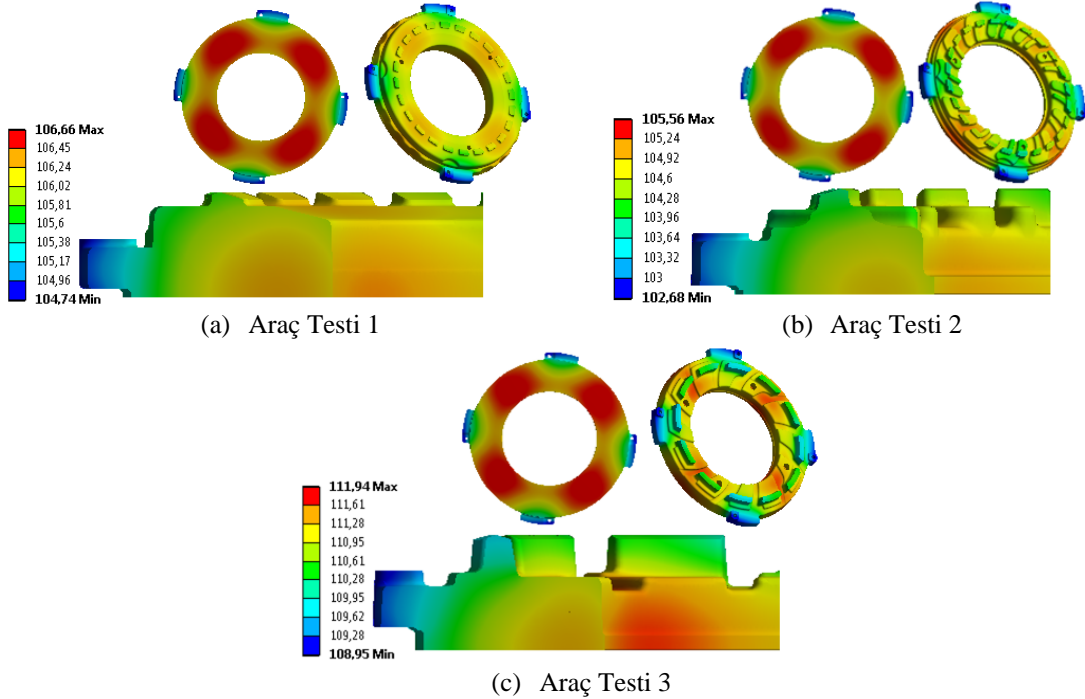
Deneysel olarak ölçülen debriyaj muhafazası içerisindeki hava sıcaklığı değişimi, ısı taşınım katsayısı, çevrim başına açığa çıkan enerji ve kavrama süreleri Şekil 3.1’de izlenen yöntem biliminde belirtildiği gibi, üç boyutlu sonlu elemanlar analizlerinde girdi olarak tanımlanmıştır. Araç Testi 3 çıktısı için Şekil 4.8’de görüldüğü gibi, yüksek ısı akısı uygulandığından (Çizelge 4.4), hem sürtünme yüzeyi hem de debriyaj muhafaza havası için daha yüksek bir sıcaklık artışı ortaya çıkmıştır. Bu çalışmadan çıkan en önemli bulgulardan biri; baskı plakası yüzeyi ile hava arasındaki ısı taşınım katsayısının, sürtünme yüzeyi sıcaklığının yükselmesi üzerinde oldukça etkili olmasıdır. Araç Testi 2’de hafif ağırlıkta plaka kullanılmış olmasına rağmen, daha yüksek ısı taşınım katsayısı dramatik sıcaklık artışını engeller. Bu nedenle; genel olarak, debriyaj sistemlerinde daha düşük sera gazı emisyonlarına yol açacak, termal performanstan ödün vermeden hafif bir tasarıma sahip olmak mümkündür sonucuna varılabilir. Üç farklı araç testinin ilk 20 ardışık duruş kalkış döngüsünün üç boyutlu sonlu elemanlar simülasyon süreleri sırasıyla araç testleri 1, 2 ve 3 için 11, 9.5 ve 10 saattir. Bu araştırmanın sonuçları; plaka sürtünme yüzeyi ve debriyaj muhafazası içerisindeki hava

sıcaklığının zirve değerleri arasındaki farkın, her bir döngü için analiz edildiğinde, sıcaklık farkının tekrar eden çevrimlerde kademeli olarak arttığını ve miktarının farklı araç konfigürasyon ve plakalar için aynı olmadığını gösterir (Şekil 4.9). Bu çalışmada, baskı plakası tasarımının (taşınım yüzeyi ve ısı taşınım katsayısı) farkı, bu sonucun başlıca nedeni olmuştur.



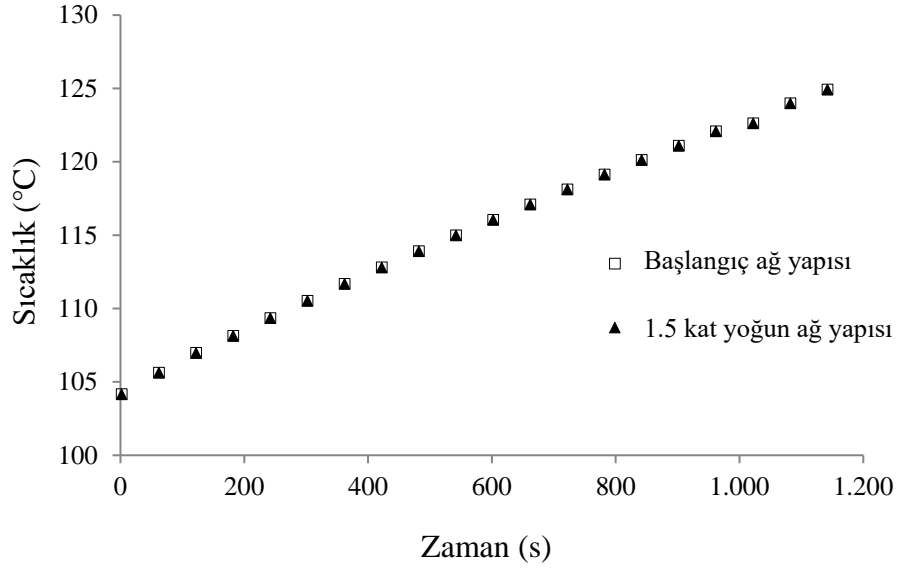
Şekil 4.9. Araç testlerinde plaka sürtünme yüzeyi ve debriyaj muhafazası içerisindeki havanın sıcaklık zirve değerlerinin çevrime göre farkı

Üç araç testinde farklı plakalar kullanılmıştır ve plakalardaki 20. çevrim veya 1200 saniye sonundaki sıcaklık dağılımını Şekil 4.10’da gösterilmektedir.



Şekil 4.10. Plakadaki 20. çevrim (1200 s) sonundaki sıcaklık dağılımını

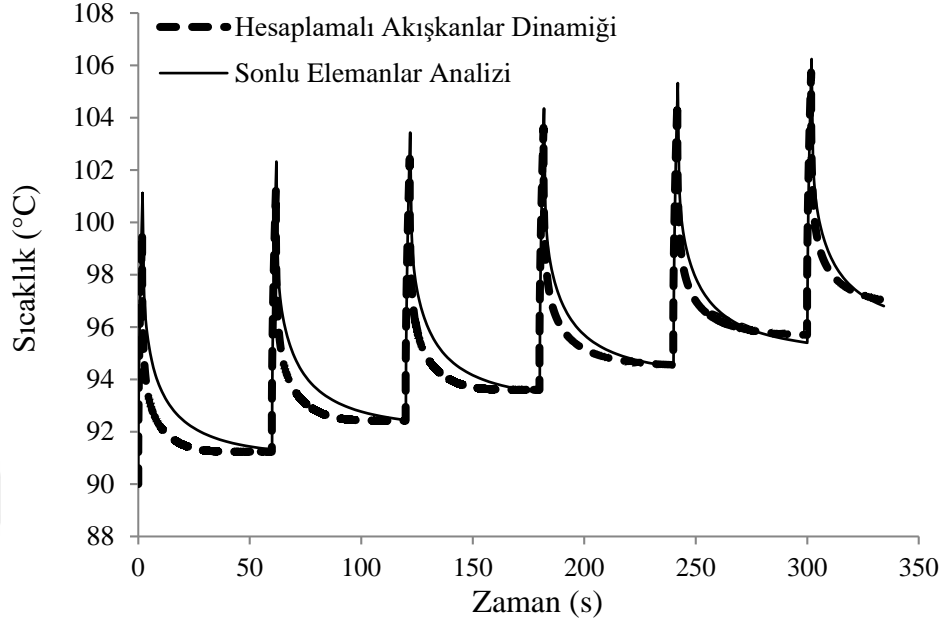
Maksimum sıcaklık ısı akısının uygulandığı sürtünme yüzeyinde gözlenir. Baskı plakası kulaklarındaki ilave kütleden dolayı minimum sıcaklık bu bölümde meydana gelmiştir. Ağ yapısından bağımsız sonuç elde edildiği, ağ yapısı elemanlarının 1.5 kat artırılması ile tekrarlanan hesaplamalarla doğrulanmıştır. Şekil 4.11’de her iki analizin zirve sıcaklık değerlerinin karşılaştırması gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Başlangıçtaki ağ yapısı ve 1.5 kez eleman sayısının aritimi arasındaki araç testi 3'ün ilk 20 çevrimdeki maksimum sıcaklık değerlerinin karşılaştırılması

Üç boyutlu sonlu elemanlar analizlerine (SEA) göre, çok daha uzun süren fakat ısı taşınım katsayısını bir girdi olarak gerektirmeyen, Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizleri (Bölüm 3.5.3) ile üç boyutlu sonlu elemanlar analizleri sonuçları, ilk altı çevrim için kıyaslandığında; aradaki farkın kabul edilebilir seviyelerde olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.12). HAD analizlerinde, ısı taşınım katsayısının bir girdi olmaması ve diğer komşu parçalarla olan iletimle ısı transferinin gözetilmesi, bu farklılığın nedenleri olarak değerlendirilebilir. HAD analizleri çok uzun sürdüğünden dolayı altı çevrim için kıyaslama yapılmıştır. Bu veriler ışığında sonraki çevrimler boyunca benzerlik için öngörülebilir bulunmak güçtür. Her iki analiz de aynı girdiler ile gerçekleştirilmiştir ve zamana bağlı termal analizlerdir. Analiz süresinin uzunluğu ve korelasyondaki zorluklardan ötürü üç boyutlu HAD analizleri, ısı taşınım katsayısının öngörülebildiği durumlarda tercih edilmeyebilir. Alternatif olarak, daha hızlı çözüm sunabilecek iki boyutlu HAD analizleri önerilmektedir; fakat ısı taşınım katsayısının

öngörülemediği veya iyileştirmesine yönelik tasarım optimizasyonlarında üç boyutlu HAD analizleri kaçınılmazdır.



Şekil 4.12. İlk altı çevrim için plakanın sürtünme yüzeyi sıcaklık değişiminin HAD ve yapısal sonlu elemanlar analizleri ile karşılaştırılması

4.4. İyileştirilmiş Parçanın Termo-mekanik Deneysel Doğrulaması

Bölüm 3.6 “Termo-mekanik İyileştirme” kısmında anlatılan ve kimyasal kompozisyon bilgisi Çizelge 3.8’de verilen, 3 farklı havalandırma kanallı plaka prototiplerinin ve geleneksel havalandırma kanalları olmayan plakanın çekme mukavemeti ve sertlik değerleri Çizelge 4.5’te verilmiştir. Çekme testi numunesi, EN ISO 6892-1 standardına göre işlenmiştir.

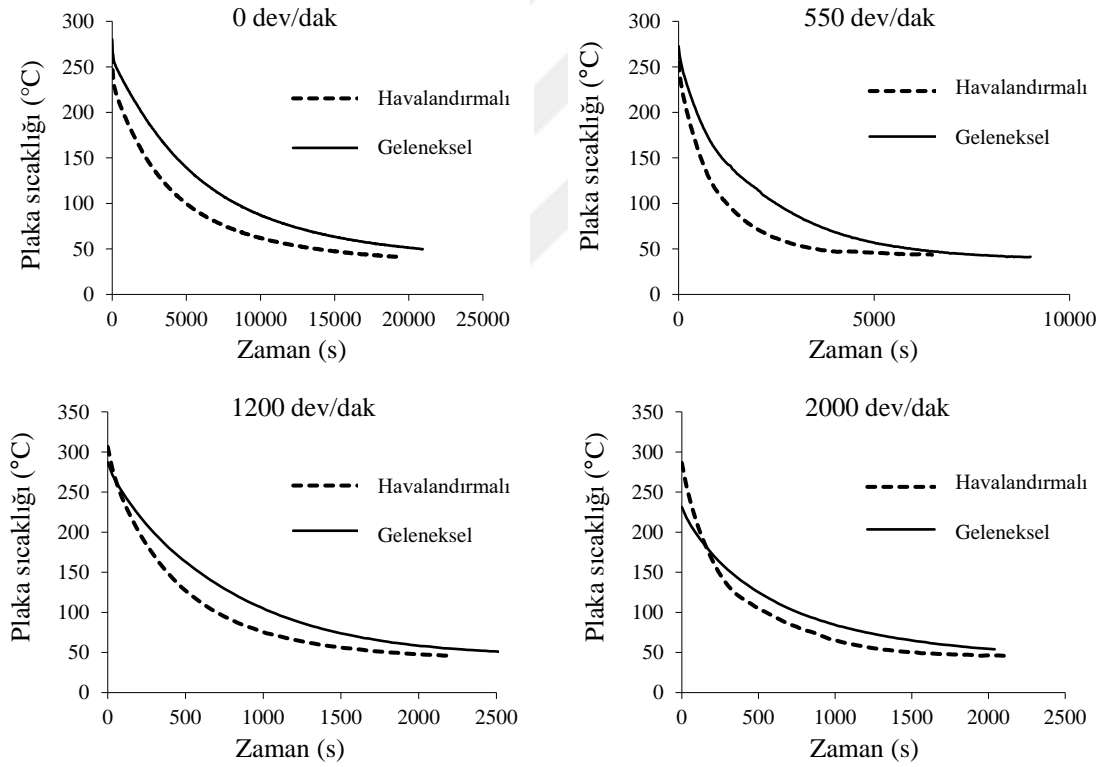
Çizelge 4.5. Prototiplerin çekme mukavemeti ve sertlik değerleri

| | <i>Geleneksel</i> | <i>Havalandırmalı B</i> | <i>Havalandırmalı C</i> | <i>Havalandırmalı D</i> |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Çekme mukavemeti (N/mm ²) | 246 | 227 | 148 | 177 |
| Sertlik (HBW 5mm/7355N) | 219 | 172 | 143 | 163 |

Termo-mekanik performansın doğrulaması için 3 farklı tezgah testi gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, havalandırma kanallarının etkisini görmek için soğuma performans testi;

ikinci olarak termal çatlak direncini gözlemlemek için tekrarlı termal şok testi ve üçüncü olarak da mekanik patlama performans testi.

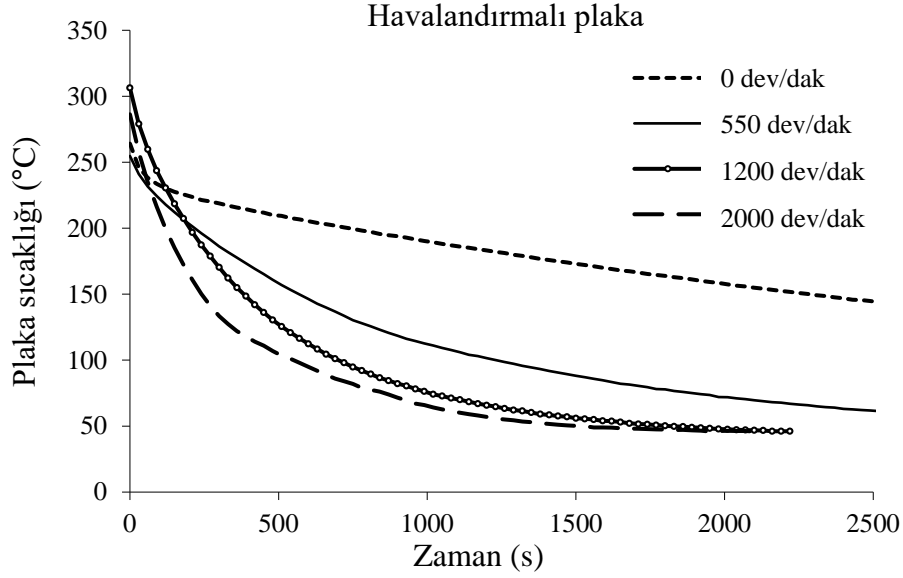
Havalandırma kanallarının etkisi, soğuma performansı Şekil 3.27’de şeması verilen tezgah testi ile araştırıldı. Bu testte, disk düzeneği ile baskı plakası arasında sürtünme uygulanarak baskı plakası 300°C civarına kadar ısıtıldı. Plakanın soğuma fazındaki sıcaklık ölçümü Şekil 3.28’de gösterilen sıcaklık sensörü vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. 300°C’ye ulaşmak için disk düzeneği bir tork ölçer ile sabitlenerek volan, baskı plakası ve kompleksini bir e-motorla döndürülerek sürtünme elde edildi. Ardından debriyaj sistemi sürtünme uygulanmadan farklı devir hızlarında döndürülmüştür. 0, 550, 1200 ve 2000 dev/dak’da soğuma sırasındaki sıcaklık değişimi Şekil 4.13’te gösterilmektedir.



Şekil 4.13. Plakaların farklı hızlardaki soğuma performansının karşılaştırılması

550 dev/dak’da başlangıç sıcaklığından, örneğin 100°C sıcaklık değerine düşüş süresi havalandırmalı kanallı plakada 2 kat daha hızlıdır ve bu değer 1200 dev/dak’da 1.5 kattır. 2000 dev/dak’da havalandırmalı plakanın başlangıç sıcaklığı 75°C daha fazla olmasına rağmen 2 dakikadan daha kısa sürede geleneksel üründen daha düşük sıcaklığa ulaşmıştır. Şekil 4.14’te havalandırmalı plakanın farklı hızlardaki soğuma performansı

bir arada gösterilmiştir. Artan dönme hızı ile birlikte ısı taşınım katsayısının artması beraberinde soğuma performansını iyileştirmiştir.



Şekil 4.14. Havalandırılmalı plakanın farklı hızlardaki soğuma performansı

İkinci test olan termal çatlak direncini gözlemlemek için yapılan tekrarlı ardışık termal şok testi Şekil 3.27’de şeması verilen tezgah testi ile gerçekleştirilmiştir. Bu testlerde uygulanan enerji seviyeleri ve sürtünme süresi bilgileri Çizelge 4.6’da gösterilmiştir. Bu testte uygulanan kaçırma süreleri, iki farklı faz için hedeflenen açığa çıkan enerji seviyesine ulaşmak için belirlenen sürelerdir.

Çizelge 4.6. Termal çatlak direnci tezgah testinde uygulanan enerji seviyeleri ve kaçırma süreleri

| | <i>Geleneksel</i> | <i>Havalandırılmalı B</i> | <i>Havalandırılmalı C</i> | <i>Havalandırılmalı D</i> |
|------------------------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| N° x Düşük enerji (kJ) | 10 x 1272 | 10 x 1290 | 10 x 1297 | 7 x 1295 |
| Kaçırma süresi (s) | 13 | 14 | 13 | 12 |
| N° x Yüksek enerji (kJ) | 10 x 1903 | 10 x 1914 | 10 x 1925 | Hata |
| Kaçırma süresi (s) | 19.5 | 20.8 | 15.3 | Hata |
| Toplam uygulanan enerji (kJ) | 31750 | 32040 | 32220 | 9065 |

Açığa çıkan enerji tanımı Denklem 3.8’de verildiği gibi hesaplanır. Burada debriyaj torku, tork ölçerin disk kompleksine uyguladığı direnç tork değeridir. Kaçırma süreleri de yine tezgah testinde kullanılan hız sensörleri vasıtasıyla belirlenir. Disk kompleksi sabit olduğundan baskı plakasının hızı, direnç tork değeri ile çarpılarak açığa çıkan enerji değeri hesaplanır. Termal çatlak dayanımının irdelendiği, Çizelge 4.6’da uygulanan enerji seviyelerinin belirtildiği enerji testleri sonrasındaki görseller Şekil 4.15’te verilmiştir.



(a) Geleneksel



(b) Havalandırılmalı B



(c) Havalandırılmalı C

Şekil 4.15. Enerji testi sonrası sürtünme yüzeyindeki termal çatlaklar

Yüzeyde oluşan termal çatlak sayısı Çizelge 4.7’de verilmiştir. Tezgah kaynaklı problem dolayısıyla havalandırılmalı D prototipinin testi tamamlanamamış ve dolayısıyla çatlak oluşmamıştır.

Çizelge 4.7. Tezgah testi sonrası plaka sürtünme yüzeyindeki termal çatlak sayısı

| | <i>Geleneksel</i> | <i>Havalandırmalı B</i> | <i>Havalandırmalı C</i> | <i>Havalandırmalı D</i> |
|----------------------|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Termal çatlak sayısı | 24 | 4 | 1 | * |

* Test tamamlanamadığından çatlak oluşmamıştır.

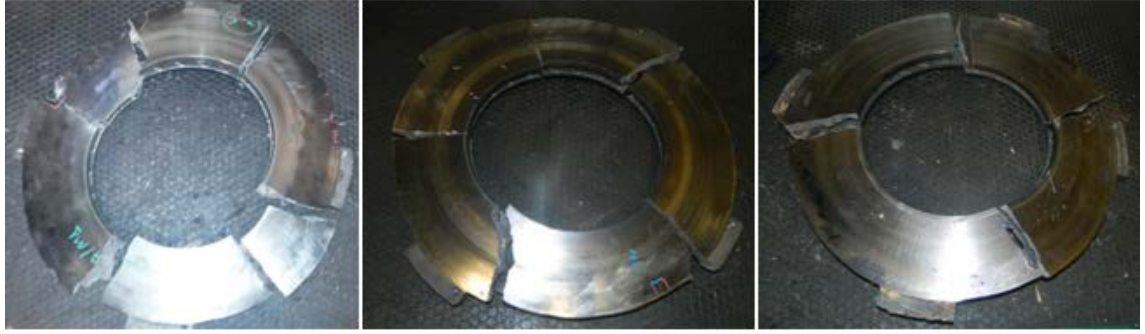
Termal testler boyunca irdelenmesi gereken diğer konu, baskı plakası sürtünme yüzeyindeki koniklik değişimidir. Ölçümlerde; havalandırma kanallarının, sürtünme yüzeyinin koniklik değişiminde bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Geleneksel parçada test öncesi 0.18 mm olan koniklik değeri Çizelge 4.6’da gösterilen düşük enerji seviyesinin uygulandığı fazdan sonra 0.20 mm değerine, yüksek enerji seviyesinin uygulandığı son fazdan sonra ise 0.32 mm olarak ölçülmüştür. Havalandırma kanallı versiyonlarda ise koniklik değeri test öncesi 0.18 mm, düşük enerji seviyesinin uygulandığı fazdan sonra 0.22 mm ve yüksek enerji seviyesinin uygulandığı son fazdan sonra ise 0.30 mm olarak ölçülmüştür.

Üçüncü test ise enerji testlerinden farklı bir tezgahta gerçekleştirilen dönme hızı dayanım testidir. Bu testte, parça yüksek hız seviyelerinde döndürülerek patlama hız değerlerinin araç kriterlerini karşılayıp karşılamadığı irdelenir. Bu test termal test sonrası termal çatlak içeren plakalara yapılmış ve sonuçları Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Patlama hızları (Termal test sonrası)

| | <i>Geleneksel</i> | <i>Havalandırmalı B</i> | <i>Havalandırmalı C</i> | <i>Havalandırmalı D</i> |
|------------------------|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Patlama hızı (dev/dak) | 6701 | 5000@23s | 4307 | 4954 |

Çizelge 4.6’da detayı verilen termal testler sonrası; en fazla termal çatlak içermesine rağmen, çekme mukavemeti en yüksek olan geleneksel ürünün en yüksek patlama seviyesine ulaştığı gözlemlenmiştir. Termal test takibinde, termal çatlak içeren aynı parçalara gerçekleştirilen patlama testi sonrası görseller Şekil 4.16’da verilmiştir. Havalandırmalı B versiyonda test kriterine göre 5000 dev/dak’da 60 saniye süresince döndürülmesi gereken ürünün 23. saniyede patladığı gözlemlenmiştir.



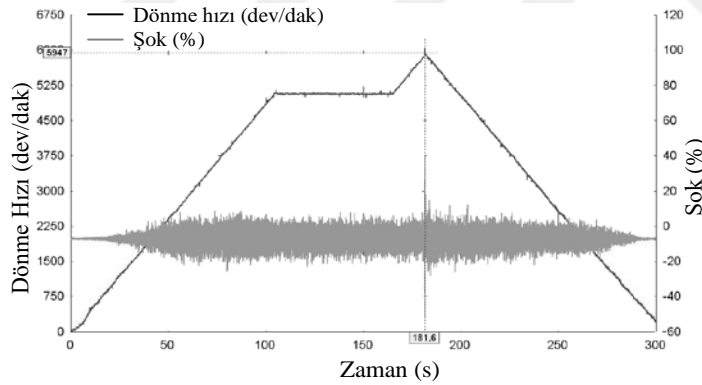
(a) Havalandırılmalı B

(b) Havalandırılmalı C

(c) Havalandırılmalı D

Şekil 4.16. Patlama testi sonrası görseller (Termal test sonrası)

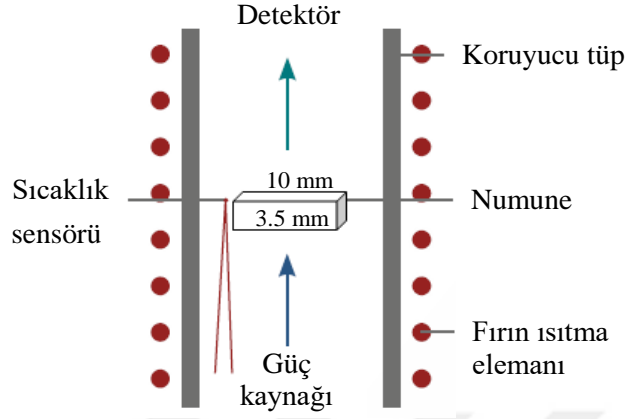
Aynı test, termal teste maruz kalmayan ve dolayısıyla sürtünme yüzeyinde termal çatlak olmayan havalandırılmalı B plakaya da uygulanmıştır (Şekil 4.17). Bu durum da patlama hızı 5947 dev/dak olarak gözlemlenmiştir. Geçmişinde termal teste maruz kalıp sürtünme yüzeyinde 4 termal çatlak bulunan havalandırılmalı B prototipi 5000 dev/dak'da patladığı gözlemlenmişti, Çizelge 4.8. Termal çatlakların patlama performansı üzerine olumsuz etkisi olduğu bu veri ile gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Patlama testi – Havalandırılmalı B (Öncesinde termal teste maruz kalmayan)

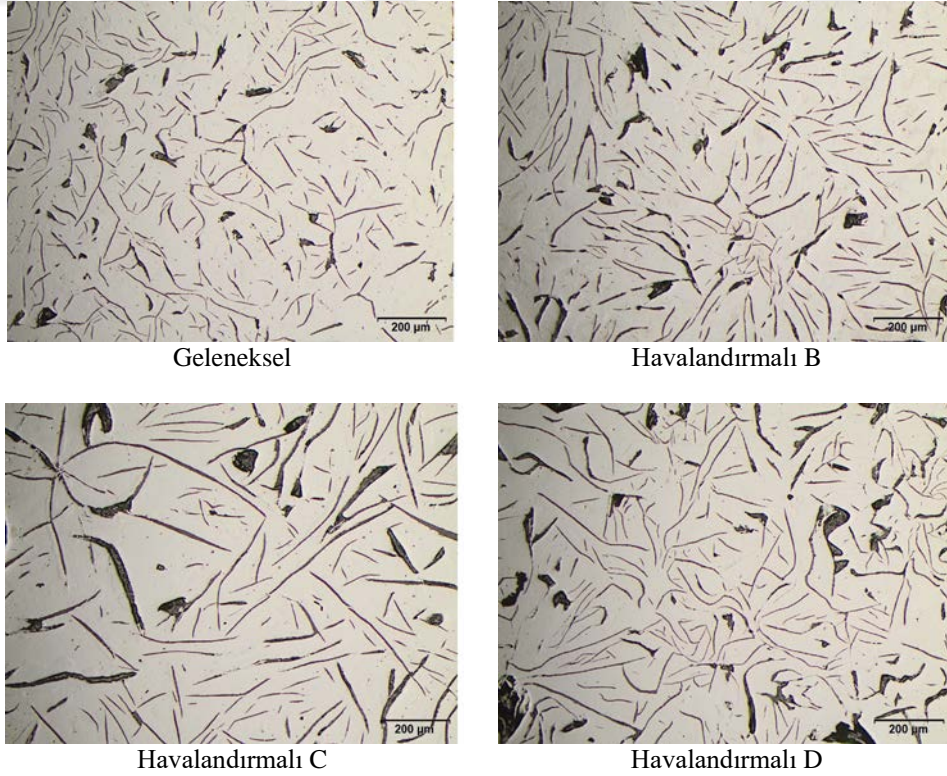
Test sonrası, termal difüzyon ve mikroyapı incelemesi için parçalardan numune alınmıştır. Termal difüzyon ölçümü için Anadolu Üniversitesi aracılığı ile Eskişehir'de bulunan Seramik Araştırma Merkezi bünyesindeki LFA-457 NETZSCH cihazından faydalanılmıştır. Şekil 4.18'de detayı verilen termal difüzyon ölçümü test edilen plakalardan elde edilen numunelerde oda sıcaklığından 500°C ye kadar ASTM E-1461 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Bir düzlem paralel numunenin (10x10x3.5mm) ön yüzeyi kısa bir lazer darbesi ile ısıtılmıştır. Oluşan ısı numuneye yayılır ve arka yüzeyde

sıcaklık artmasına neden olur. Elde edilen arka yüzün kızılötesi detektör ile ölçülen sıcaklık farklılığından, termal difüzyivite belirlenmiştir.



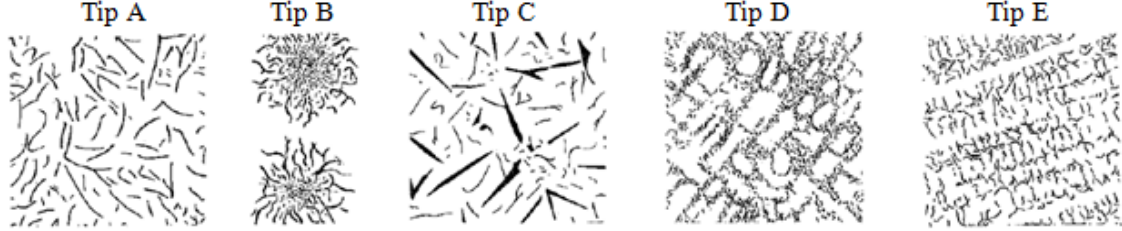
Şekil 4.18. Termal difüzyivite ölçüm prensibi

Termal difüzyivite ölçümü yapılan numunelerde, ISO EN 945-1 standardına göre mikro yapı incelemesi de gerçekleştirilmiştir. Test edilen prototiplerin mikro yapısındaki grafit pullarının optik görüntüleri Şekil 4.19’da gösterilmektedir.



Şekil 4.19. Mikroyapıdaki grafit pullarının optik görüntüleri (x100)

Tüm numunelerde Tip A grafit pulları gözlemlenmiştir. Havalandırılmalı C prototipinden alınan numune en uzun grafit boyuna sahip olan olarak göze çarpmaktadır. EN ISO 945-1 standardına göre, lamel grafitli dökme demirde karşımıza çıkan grafit tipleri A, B, C, D ve E olmak üzere beş ana gruba ayrılır (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. Gri dökme demirdeki grafit pullarının tipleri (Davis 1996)

Enerji tasarrufu nedeniyle parça ağırlığının azaltılması yönünde bir eğilimin olduğu günümüzde, dökülen parçanın tüm kesitlerinde mekanik özelliklerin istenilen değerleri sağlayabilmesi gerekiyor. Bu nedenle müşteriler, ağırlığı azaltacak şekilde tasarlanmış bir parçadaki grafit tipinin mümkün olduğunca homojen olması konusunda oldukça ısrarcı olabiliyorlar. Dökülen parçanın kritik bir bölgesinde istenmeyen bir grafit tipinin ortaya çıkması, parçanın mekanik özelliklerinde ciddi bir gerilemeye yol açabiliyor. Bu nedenle müşterilerin siparişlerinde sadece GG-25 şeklinde dökülecek dökme demirin türünü değil, ayrıca grafit tipini de net bir şekilde belirttiklerini görebiliyoruz.

A tipi grafit; Yapıda homojen olarak dağılmış ve rastgele yönelime sahip yapraklar halinde ortaya çıkıyor. Soğuma hızının çok yüksek olmadığı ve doğru bir şekilde aşılınmış dökme demirlerde grafitin A tipine sahip şekilde oluştuğunu görüyoruz. Bu nedenle, bu grafit türünün ortaya çıktığı dökme demirlerde aşırı soğumanın da oldukça düşük seviyelerde olduğunu gözlemliyoruz. A tipi grafitin sağladığı yüksek mekanik özellikler nedeniyle, çoğu durumda dökme demirin yapısında istenen grafit tipi olduğunu söylenebilir.

B tipi grafit; Çiçeksi grafit adı verilen bu grafit tipi, ötektik kompozisyona sahip dökme demirlerde, A tipi grafitte kıyasla biraz daha fazla aşırı soğuma gerçekleştiği durumlarda ortaya çıkıyor. Nispeten hızlı soğuma koşullarında ortaya çıkan bu grafit tipini, genellikle ince kesitlerde ya da kalın kesitli parçaların yüzeyine yakın bölgelerde

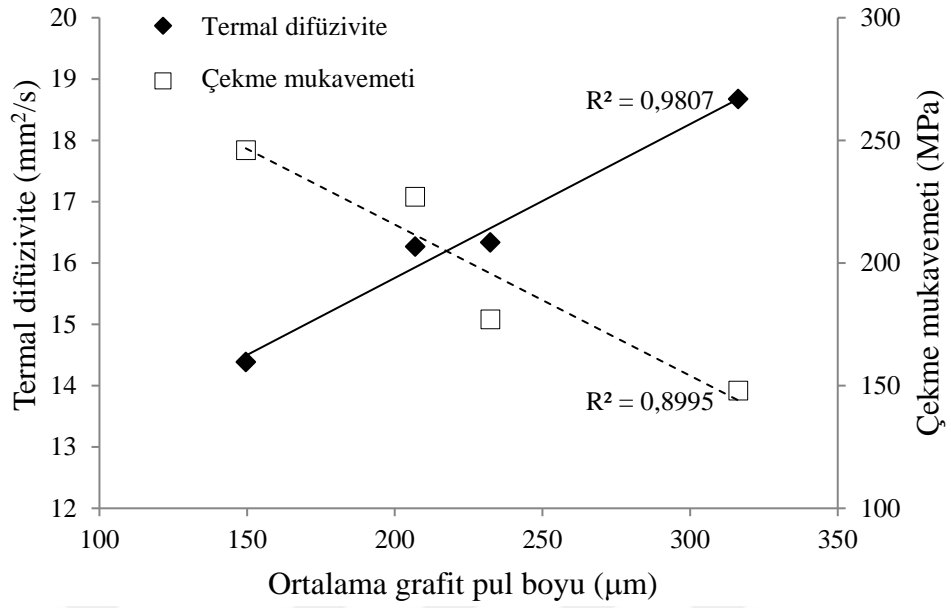
görüyoruz. Zaman zaman, aşılamanın verimsiz olduğu durumlarda da B tipi grafit oluşabiliyor.

C tipi grafit; Kiş grafit adı da verilen C tipi, sadece karbon eşdeğerinin çok yüksek olduğu, ötektik üstü (hiperötektik) dökme demirlerde ortaya çıkıyor. Birincil katılma sırasında çökelen bu grafit tipi oluşurken, yine oldukça düşük miktarlarda aşırı soğuma gerçekleştiğini görüyoruz. Büyük ve kalın tabaka yapısına sahip bu grafit türü dökme demirin mekanik özelliklerini olumsuz şekilde etkilediği gibi, işleme sonrasında pürüzlü bir yüzey oluşmasına da neden olabiliyor. Grafit miktarının fazla olması nedeniyle dökme demire yüksek ısı iletkenliği sağlayan bu grafit tipi, bu özelliği nedeniyle yüksek ısı iletimi istenen uygulamalarda tercih ediliyor.

D tipi ve E tipi grafit; Her iki grafit yapısı da, karbür (sementit) oluşturacak derecede olmasa da, aşırı soğumanın nispeten fazla olduğu durumlarda ortaya çıkıyor. Dendritler arası bölgede kümelenmiş şekilde gözlemlediğimiz bu grafit yaprakları, D tipinde rastgele yönelime sahip olarak, E tipinde ise belli bir doğrultuda yönelmiş olarak bulunuyorlar. Dökme demir yapısında fazla alüminyum ya da titanyum bulunmasının bu grafit tiplerinin oluşumuna yardımcı olduğunu biliyoruz. Bu kadar ince ve dallanmış grafit yaprakları oluştuğu zaman karbonun difüzyon mesafeleri kısıtlandığı için, bu grafit tipleri ortaya çıktığında matrisin genellikle sadece ferrit yapısı sergilediğini görüyoruz.

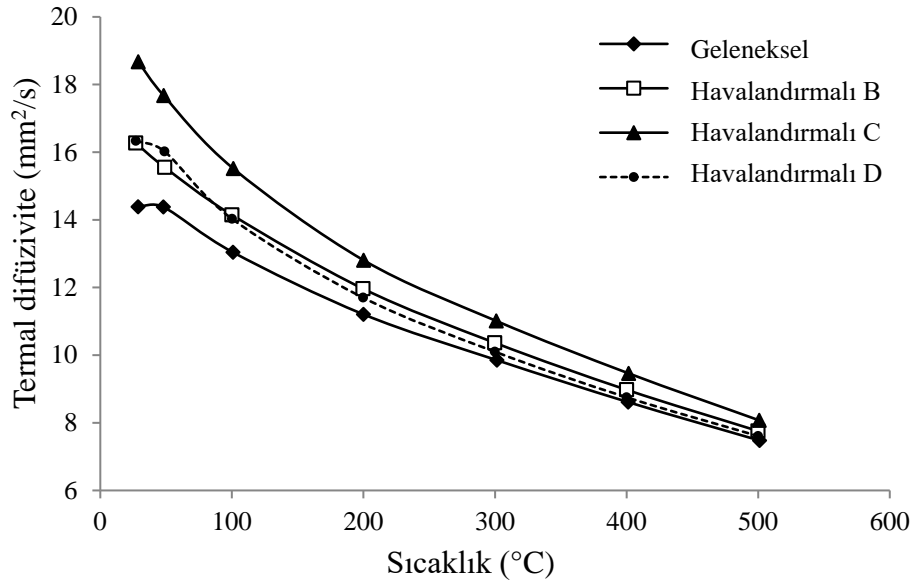
Bu grafit tiplerini her ne kadar ayrı ayrı tanımlanmış olsa da, dökülen parçanın tüm kesitlerinde A tipi grafitin elde edilmesinin oldukça zor olduğunu ve özellikle ince kesitli parçalarda D ve E tipi grafitin A tipiyle birlikte bulunabilir (Anonim 2017b).

Ölçümler irdelendiğinde termal difüzivitenin grafit pul boyu artışı ile arttığı, çekme mukavemetinin ise düştüğü gözlemlenmiştir (Şekil 4.21).



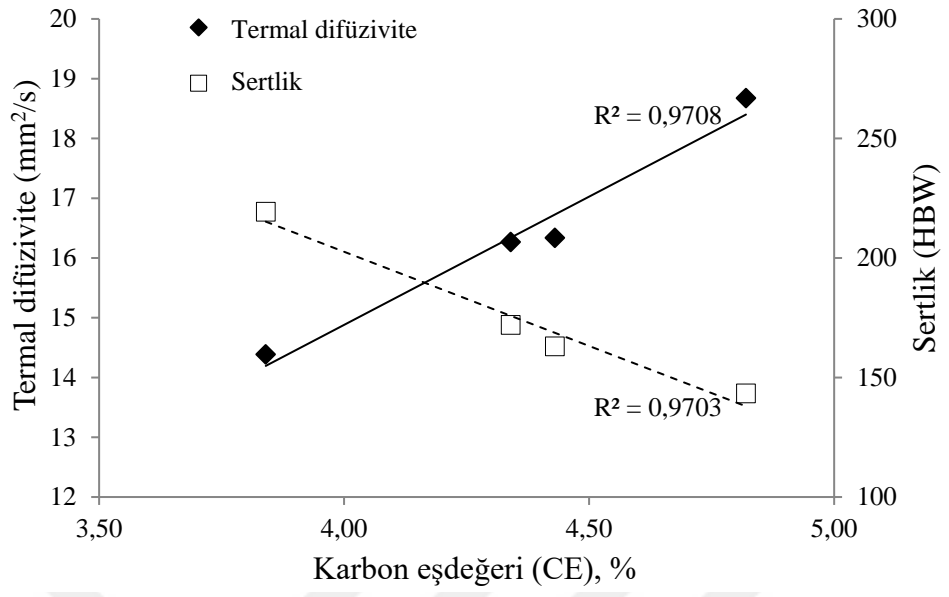
Şekil 4.21. Termal difüzyivite ve çekme mukavemetinin ortalama grafit boyu ile değişimi

Şekil 4.22’de gösterildiği üzere termal difüzyivite, sıcaklık artışı ile birlikte düşmüştür.



Şekil 4.22. Termal difüzyivitenin sıcaklıkla değişimi

Şekil 4.23’te gösterildiği gibi termal difüzyivitenin karbon eşdeğeri ile arttığı gözlemlenmiştir. Karbon eşdeğerinde %1’lik bir artış ile termal difüzyivitede %29’luk bir artış oluşmuştur.



Şekil 4.23. Termal difüzyivite ve sertliğin karbon eşdeğeri ile değişimi

5. SONUÇ

Sürtünme yüzeyi sıcaklığının kritik değere yükselmesi, taşıt debriyajlarının çalışmasında karşılaşılan en büyük problemlerden biridir. Daha önceki çalışmalar, matematiksel modellerle bu problemi incelese de, deneysel veriyle ilişkili yani gerçek çalışma şartlarındaki sıcaklık yükselmesi bilinmemektedir. Bu nedenle, bu tezde sunulan çalışmanın amaçlarından biri, araç deneyleri sırasında kuru kavramalı bir debriyajın sürtünme yüzeyi sıcaklığını deneysel verilere dayanarak elde edilen girdileri kullanarak tahmin etmektir. Bu amaç doğrultusunda ilk olarak, baskı plakası yüzeyi ile hava arasındaki ısı taşınım katsayısını belirlemek için debriyaj kompleksinin deneysel tezgah testleri yapılmıştır. Sonuçlar baskı plakası yüzeyi ile hava arasındaki ısı taşınım katsayısının dönme hızı ve plaka tasarımındaki kompaktlık arttıkça arttığını göstermiştir. Bir sonraki deneysel çalışmalar, saha şartlarında kavrama süresi ve her kavramada açığa çıkan enerji miktarını analiz etmek için üç farklı araçla eğimli bir yol üzerinde ardışık duruş kalkış operasyonlarını içermektedir. Araç testlerindeki tekrarlı ardışık kavramalar sırasında debriyaj muhafazası havasının sıcaklık değişimi de deneysel olarak ölçülmüştür. Araç testlerinde ölçülen debriyaj muhafazası havasının sıcaklığı, bir boyutlu geçici termal sistem analizleri ile korele edilmiştir. Araç testlerinde tekrarlı ardışık kavramaları temsil eden, üç boyutlu, tekil baskı plakasının sonlu elemanlar ve debriyaj sisteminin hesaplamalı akışkanlar dinamiği analizleri de bu tez kapsamında detaylıca sunulmuştur. Simülasyonlar, deneysel verilere dayanan girdilerle, debriyaj baskı plakası sürtünme yüzey sıcaklığının tahmin edilmesini sağlar. Simülasyon sonuçları ayrıca, sürtünme yüzeyi ile debriyaj yuvası havası arasındaki sıcaklığın zirve değerlerinin farkının, tekrar eden kavramalarla kademeli olarak arttığını göstermiştir. Birlikte ele alındığında bu sonuçlar, sürtünme yüzeyi sıcaklığındaki artışın debriyaj baskı plakasının tasarımına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir.

Araçları hareket ettirmek için gerekli enerji, aracın aerodinamik dirençleri hariç, kütlesi ile doğru orantılıdır. Ağır vasıta uygulamalarında, havalandırma kanallarının konvansiyonel kuru tip debriyaj baskı plakası tasarımına uygulanması, sağladığı kütle düşümü avantajıyla aracın yakıt tüketimini ve döküm plakasının maliyetini düşürür. Bu çalışmada, mekanik ve metalürjik özellikler bakımından farklı olan üç tip havalandırma kanalları içeren kavrama plakası geliştirilmiştir. Havalandırma versiyonların üretim

denemelerinde izlenen yöntem detaylıca gösterilmiş ve harcanan model yardımı ile izlenen yöntem de karşılaşılan problemler de sunulmuştur. Diğer üretim metodu, maça ve ahşap model kullanımı ise üretim denemelerinde başarılı sonuç vermiş, denemelerdeki tecrübeler ışığında, bu yöntem ile üretimde de maça modelinin parçalı değil, bütün olması önerilmiştir. Üç farklı kimyasal kompozisyondaki, havalandırılmalı versiyon prototipinin, soğuma performansı, termal çatlak direnci ve mekanik patlama seviyesi deneysel olarak incelenmiş ve geleneksel havalandırma kanalları içermeyen versiyon ile karşılaştırılmıştır. Kimyasal kompozisyondaki değişikliklerle beraber oluşan daha uzun grafit yapısı ile termal difüzyonun (ısı iletiminin) geliştirilmesi, çekme mukavemetinde zayıflamaya neden olmuştur. Sıcaklık artışıyla birlikte termal difüzyonun düştüğü gözlemlenmiştir. Farklı sıcaklıklardaki ölçümlerde elde edilen diğer önemli veri, kimyasal kompozisyondaki değişikliğin, termal difüzyon üzerindeki etkisinin sıcaklık artışı ile azalmasıdır.

Bu tez çalışması kapsamında elde edilen önemli bulgular şu şekilde özetlenebilir;

- Deneysel verilerde, plaka tasarım kompaktlığındaki % 10'luk artışın, aynı dönme hızı için ısı taşınım katsayısında en az %25 artış sağladığı görülmektedir.
- Bu çalışmadaki ampirik bulgular, bir tezgah testi gerçekleştirmeksizin, tasarım aşamasında 430 mm çaplı debriyaj baskı plakası yüzeyi ile hava arasındaki ısı taşınım katsayısının öngörülmesini sağlamaktadır (Denklem 4.3).
- Araç testi sonuçları, 1 ile 2 saniye arasındaki kavrama süresi aralığının, tüm çevrimlerin yüksek bir yüzdesine (%65) karşılık geldiğini ve kavrama esnasında açığa çıkan enerji miktarının, kavrama süresinin uzamasına bağlı olarak arttığını göstermiştir.
- 3 farklı araç testinin toplam 284 duruş kalkış operasyonunda, kavrama süresi 0.6 ile 4.05 saniye arasında ve açığa çıkan enerji de 5 ile 80.64 kJ arasında değişmiştir.
- Simülasyon sonuçları, sürtünme yüzey sıcaklığının her bir kavrama işleminde maksimum 15°C yükseldiğini ve böylece sıcaklık 350°C civarında kritik seviyeye erişmeden önce kavrama sisteminin 200'den fazla tekrarlayan kavramalara dayanabileceğini göstermektedir.

- Deneysel araştırma sonuçları; havalandırma kanallarının, baskı plakası soğuma performansını önemli ölçüde geliştirdiğini ve rölanti devri olan 550 dev/dak'da başlangıç sıcaklığından, örneğin 100°C sıcaklık değerine düşüş süresinin 2 kat, 1200 dev/dak'da ise 1.5 kat daha hızlı olduğunu göstermiştir. 2000 dev/dak'da havalandırılmalı plakanın başlangıç sıcaklığı 75°C daha fazla olmasına rağmen 2 dakikadan daha kısa sürede geleneksel üründen daha düşük sıcaklığa ulaşmıştır.

- Karbon eşdeğerinde %1'lik bir artış ile, termal difüzivitede %29'lük bir artış oluşmuştur.

- Kimyasal bileşimin ayarlanarak karbon eşdeğerinin artırılması, patlama performansını olumsuz etkileyen termal çatlaklara daha iyi direnç sağlamıştır. Geleneksel parçada 24 adet gözlemlenen termal çatlak sayısı, patlama test kriterini sağlayan havalandırılmalı B versiyonunda 4 adet olarak gözlemlenmiştir.

- Termal testlerde, havalandırma kanallarının, plaka sürtünme yüzeyindeki koniklik değişimini etkilemediği gözlemlenmiştir. Geleneksel parçada test öncesi 0.18 mm olan koniklik değeri, test sonrası 0.32 mm olarak ölçülmüştür. Havalandırılmalı versiyonda ise test öncesi 0.18 mm ve test sonrası 0.30 mm olarak ölçülmüştür.

- Neticede; geleneksel tasarımla karşılaştırıldığında, daha iyi termal çatlama direncine sahip, mekanik patlama ölçütünü yerine getiren ve sürtünme yüzeyi koniklik değişimini olumsuz etkilemeyen, %28 daha hafif prototip elde edilmiştir.

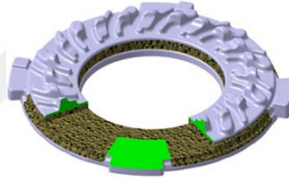
- Deneysel çalışmalar, dökme demir kavrama baskı plakasının havalandırılmalı versiyonu için tasarım kriterlerinin, metalürjik özelliklerin düzenlenmesi ile pratik olarak elde edilebileceğini göstermektedir.

- Güç aktarma organlarındaki kütle düşümü, beraberinde araçların karbondioksit emisyonlarının düşümüne olanak sağlayacaktır. Bu tez kapsamında güç aktarma organlarında sağlanan 7 kg'lık kütle düşümü, hayatı boyunca 1.2 milyon km yapan 100.000 adet 40 ton ve üzeri ağır vasıta araçları gözetildiğinde, CO₂ salınımlarında toplamda 18 kiloton seviyelerinde azalma sağlayacaktır.

Gelecekteki Çalışmalar için Öneriler

Tez çalışması kapsamında, taşınım ve iletimle ısı transfer artımı hedefiyle prototip üretimi yapılan havalandırma kanallı plakanın, kanal geometrisindeki optimizasyon ile ısı taşınım katsayısının artırılması, öncelikle çalışma alanı olarak irdelenebilir. Bu hedef için bu tez kapsamında sunulan üç boyutlu HAD analizleri kullanılabilir.

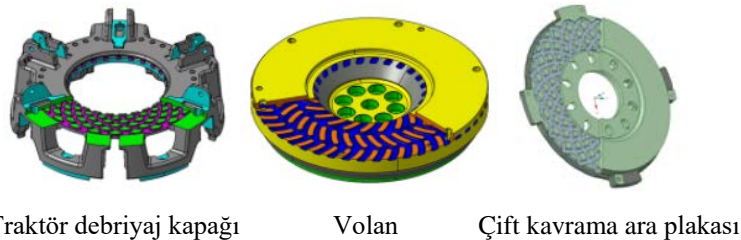
Diğer araştırma önerisi; döküm parçanın kompaktlığını yükseltecek, gövdeye açık gözenekli alüminyum köpük uygulamasıdır (Şekil 5.1). Bu uygulamayla taşınım ile ısı transfer yüzey alanı mevcut uygulamaya göre %100'den fazla arttırılabilecekken kütlede %40 civarında azalma sağlanabilecektir. Termal ve mekanik dayanımın yüksek seviyede gerekli olduğu sürtünme yüzeyi ve diyafram yüküne maruz kalan üst kısımlarda, döküm parçanın korunup, kısmen daha az mukavemetin yeterli olacağı, iç kısımlarda bu yapı uygulanabilir. Alüminyum köpük uygulamasında, sentetik alüminyum yapısı ile termal dayanımda artış sağlanabilir.



Şekil 5.1. Plaka gövdesine alüminyum köpük uygulaması

Tez çalışması kapsamında irdelenen havalandırma kanalları veya önerilen alüminyum köpük yapıları, güç aktarma sisteminin diğer döküm parçalarına da (ör; volan, traktör debriyaj kapağı, çift kavramaların ara plakası) uygulanabilir (

Şekil 5.2). Farklı döküm parçalarda, eş zamanlı uygulama ile kütle düşümü miktarı artacağından, CO₂ salınımlarının düşümüne olan katkı arttırılabilecektir.



Şekil 5.2. Havalandırma kanallarının güç aktarma sisteminin diğer döküm parçalarına uygulanması

KAYNAKLAR

- Abdullah, O., Schlattmann, J. 2012.** Finite Element Analysis of Temperature Field in Automotive Dry Friction Clutch. *Tribology in Industry*, 34: 206-216.
- Abdullah, O.I., Schlattmann, J. 2014.** Computation of surface temperatures and energy dissipation in dry friction clutches for varying torque with time. *International Journal of Automotive Technology*, 15(5): 733-740.
- Abdullah, O.I., Schlattmann, J., Lytkin, M. 2015.** Effect of Surface Roughness on the Thermoelastic Behaviour of Friction Clutches. *FME Transactions*, 43(3): 241-248.
- Adamowicz, A. 2016.** Effect of Convective Cooling on Temperature and Thermal Stresses in Disk during Repeated Intermittent Braking. *Journal of Friction and Wear*, 37(2): 107-112.
- Adedayo, A.V. 2013.** Relationship between graphite flake sizes and the mechanical properties of grey iron. *International Journal of Materials Science and Applications*, 2(3): 94-98.
- Akhtar, M.M.J., Abdullah, O.I., Schlattmann, J. 2015.** Transient thermoelastic analysis of dry clutch system. *Journal of Machine Design*, 5(4): 141-150.
- Angus, H.T. 1978.** Cast iron physical and engineering properties. Butterworth & Co (Publishers) Ltd.
- Anonim, 2012.** Improving Vehicle Efficiency, Reducing Dependence on Foreign Oil. Vehicle Technologies Program Report, U.S. Department of Energy.
- Anonim, 2017a.** The Equipments in Sand Casting, Sand Cast Iron Foundry in China. <http://www.metals-china.com/the-equipments-in-sand-casting-sand-cast-iron-foundry-in-china.html>-(Erişim tarihi: 13.11.2017).
- Anonim, 2017b.** Lamel grafitli dökme demirde grafit tipleri. <https://dokumhane.net/2015/01/01/lamel-grafitli-dokme-demirde-grafit-tipleri/>-(Erişim tarihi: 13.11.2017).
- Ansys, 2016.** Non linear and transient thermal analysis. Ansys Mechanical Heat Transfer, Module 03.
- Aran, A. 2007.** Döküm Teknolojisi, İmal Usulleri Ders Notları. İTÜ Makina Fakültesi, İstanbul.
- ASTM E1461-13, 2013.** Standard Test Method for Thermal Diffusivity by the Flash Method.
- Bataus M.V., Vasiliu N. 2012.** Modeling of a dual clutch transmission for real-time simulation. *U.P.B. Sci. Bull., Series D*, 74(2): 251-264.
- Cappetti, N., Pisaturo, M., Senatore, A. Reale, G. 2012.** Cushion spring sensitivity to the temperature rise in automotive dry clutch and effects on the frictional torque characteristic. *Journal of Mechanical Testing and Diagnosis*, 3(2): 28-38.
- Chen, G., Baldwin, K., Czarnecki, E. 2011** Real Time Virtual Temperature Sensor for Transmission Clutches. *SAE International Journal of Engines*, 4(1): 1523-1535.
- Coelho, R., Rabelo, T. 2011.** Clutch 430 Heavy Duty. XX SAE Brasil International Congress and Exhibition, São Paulo, Brasil.
- Çakmak, T. 2012.** Stamping Simulation and fatigue life prediction of a clutch cover. OTEKON 6th Automotive Technologies Congress, Bursa.
- Çakmak, T. Kılıç, M. 2017.** Clutch Transient Heat Transfer Simulation for Hill Start Vehicle Test Condition. 13th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, Slovenia.
- Davis, J.R. 1996.** Classification and Basic Metallurgy of Cast Irons. ASM Specialty Handbook Cast Irons.

Dolcini, P., Wit, C.C., Bechart, H. 2010. Dry Clutch Control for Automotive Applications. *Advances in Industrial Control*, Springer.

Duque E.L., Barreto M.A., Fleury A.T. 2009. Math model to simulate clutch energy during vehicle launch. 18th SAE Brasil International Congress and Exhibition.

Duque E.L., Barreto M.A., Fleury A.T. 2012. Use of different friction models on the automotive clutch energy simulation during vehicle launch. *ABCM Symposium Series in Mechatronics, Sensors & Actuators*, 5(8): 1376-1389.

EN ISO 6892-1, 2010. Metallic materials - Tensile testing - Part 1: Method of test at room temperature.

EN ISO 945-1, 2008. Microstructure of cast irons - Part 1: Graphite classification by visual analysis.

Erbaş, C. 2015. Simulation of the clutch hill start test for heavy commercial vehicles. *MSc Thesis*, Department of Aeronautics and Astronautics Engineering, Istanbul Technical University, İstanbul.

Fan, Z., Ji-ping, B. 2011. Finite Element Analysis and Improvement on the Thermal Stress of the Truck Clutch Pressure Plate. *Forestry Machinery & Woodworking Equipment*, 39(4).

Fernandes, G.P., Zanotto, P.S., Sinatora, A. 2015. Contribution on understanding the friction film development in the performance of a dry automotive clutch system. *Wear*, 342: 364-376.

Gene L.Y. 2007. FEA-based prediction and experimental validation of clutch transient temperature in automatic transmission. *Int. J. Vehicle Design*, 43: 1-10.

Goo, B., Lim, C. 2012. Thermal fatigue of cast iron brake disk materials. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 26(6): 1719-1724.

Grote, K.H., Antonsson, E.K. 2009. *Handbook of Mechanical Engineering*, Springer.

Güneş, F.E. 2015. Thermal modeling and simulation of dry friction clutches in heavy duty trucks. *PhD Thesis*, Department of Mechatronics Engineering, Istanbul Technical University, İstanbul.

Hecht, R.L., Dinwiddie, R.B., Porter, W.D., Wang. H. 1996. Thermal Transport Properties of Grey Cast Irons. SAE Technical Paper, 962126.

Hecht, R.L., Dinwiddie, R.B., Wang. H. 1999. The effect of graphite flake morphology on the thermal diffusivity of gray cast irons used for automotive brake discs. *Journal of Materials Science*, 34: 4775-4781.

Helms, H., Kräck, J., 2016. CO2 Energy savings by light-weighting - 2016 Update. Commissioned by the International Aluminium Institute supported by European Aluminium.

Heuss, R., Müller, N., Sintern, W., Starke, A., Tschiesner, A. 2012. How carbon fiber and other lightweight materials will develop across industries and specifically in automotive. *Lightweight, heavy impact*, McKinsey&Company Report.

Hur, M.D., Lee, S.U., Kim, G.Y., Kang, S.S. 2009. Analysis of Pressure Plate Behavior of a Clutch Including Thermal and Mechanical Material Properties. *Journal of the Korean Society of Marine Engineering*, pp: 524-532.

ICCT, 2016. United states efficiency and greenhouse gas emission regulations for model year 2018-2027 heavy-duty vehicles, engines, and trailers. International council on clean transportation.

Karadere, G., Kopmaz, O., Güllü, E. 2010. ‘Transient phenomena during engagement phase of a clutch. *Int. J. Materials and Product Technology*, 39(3/4): 225-239.

Kaya, N., Kartal S., Çakmak, T., Karpas, F., Karaduman, A. 2015. Shape optimization of clutch cushion disc using differential evolution method. IMECE 2015 Proceedings of the ASME 2015 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, Houston, Texas.

Khamlichi, A., Bezzazi, M., Parron Vera, M.A. 2003. Optimizing the thermal properties of clutch facings. *Journal of Materials Processing Technology*, 142: 634-642.

Kilic, M. 2017. Özel iletişim, Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa.

Kilic, M., Cakmak T., Sevilgen G. 2016. Clutch Pressure Plate Compactness Effect on the Clutch System Heat Dissipation. 12th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, Spain, 438-444.

Kim, J., Choi, S.B. 2010. Control of Dry Clutch Engagement for Vehicle Launches via a Shaft Torque Observer. American Control Conference, Marriott Waterfront, Baltimore, MD, USA, 676-681.

Kronmüller, S., Petri, T. 2015. Introduction to clutch technology for cars and LCVs. LUK Clutch Course.

Levillain, A., Brassart, P., Patte-Rouland, B. 2015. Impact of the Housing on the Air Flow and the Thermal Behavior of an Automotive Clutch System. *Open Journal of Fluid Dynamics*, 5: 68-75.

Maluf, O., Angeloni, M., Castro, D.B.V., Bose Filho, W.W., Spinelli, D., Ruckert C.O.F.T. 2009. Effect of Alloying Elements on Thermal Diffusivity of Gray Cast Iron Used in Automotive Brake Disks. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 18: 980-984.

Minereau, H. 1988. Contribution à l'étude des transferts thermiques dans l'embrayage. *Ph.D. Thesis*, C.N.A.M, Paris.

Mouffak, E., Bouchetaran, M. 2016. Transient thermal behavior of automotive dry clutch discs by using Ansys software. *Mechanika*. 22(6): 562-570.

Nejat, A., Aslani, M., Mirzakhali, E., Najian Asl, R. 2011. Heat Transfer Enhancement in Ventilated Brake Disk Using Double Airfoil Vanes. *Journal of Thermal Science and Engineering Applications*, 3(045001): 1-10.

Norris, J., Escher, G. 2017. Heavy Duty Vehicles Technology Potential and Cost Study. Ricardo Energy & Environment, Final Report for the International Council on Clean Transportation (ICCT), Issue Number 5b.

Nürk, C. and Maier, M. 2014. The Truck Market 2024, Sustainable Growth in Global Markets. Deloitte 2014 Truck Study Report.

Orzelowski, S., Wicher, J. 2000. On the influence of friction clutch design on its ability to transmit torque. *Int. J. Vehicle Design*, 24:171-181.

Pisaturo M., Senatore M.A. 2016. Simulation of engagement control in automotive dry-clutch and temperature field analysis through finite element model. *Applied Thermal Engineering*, 93: 958-966.

Pisaturo, M. 2013. Dry clutch for automated manual transmissions. *Ph.D. Thesis*, University of Salerno, Italy.

Purohit, R., Khitoliya, P., Koli, D.K. 2014. Design and Finite Element Analysis of an Automotive Clutch Assembly. 3rd International Conference on Materials Processing and Characterisation, pp: 490-502.

Sai Balaji, M.A., Kalaichelvan, K. 2012. Experimental studies of various reinforcing fibres in automotive disc brake pad on friction stability, thermal stability and wear. *Int. J. Materials and Product Technology*, 45: 132-144.

- Schiller, T., Maier, M., Büchle, M. 2016.** Global Truck Study 2016. The truck industry in transition, Deloitte.
- Sfarni, S., Bellenger, E., Fortin, J., Malley, M. 2011.** Numerical and experimental study of automotive riveted clutch discs with contact pressure analysis for the prediction of facing wear. *Finite Elements in Analysis and Design*, 47: 129-141.
- Sorihan, A.H.M. 2012.** Simulation Based Comfort Evaluation for Vehicles with Automated Transmissions. *MSc Thesis*, University of Applied Sciences Konstanz.
- Thornblad, J. 2014.** Drivetrain Modelling and Clutch Temperature Estimation in Heavy Duty Trucks. *MSc Thesis*, Linköpings University, Södertälje, Sweden.
- Vasca, F., Iannelli, L., Senatore, A., Reale, G. 2011.** Torque Transmissibility Assessment for Automotive Dry Clutch Engagement. *ASME Transactions on Mechatronics*.
- Wang, Q., Zhu, M., Liu, X. 2014.** Coupling Heat Structure Analysis of the Clutch Pressure Plate in Vehicle Overloaded Start Procession. *Sensors & Transducers*, 182(11): 156-161.
- Wittig, S., Kim, S., Scherer, T., Weissert, I. 1998.** Numerical Study for Optimizing Heat Transfer in High Speed Rotating Components. *International Journal of Rotating Machinery*, 4(3): 151-161.
- Zhao Z., He L., Yang Y., Wu C., Li X., Hedrick J.K. 2016.** Estimation of torque transmitted by clutch during shifting process for dry dual clutch transmission, *Mechanical Systems and Signal Processing*. 75: 413-433.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Tolga ÇAKMAK

Doğum Yeri ve Tarihi : Samsun, 1982

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Eskişehir Anadolu Lisesi, 2000

Lisans : Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 2004

Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 2007

Çalıştığı Kurum : Valeo Otomotiv End. A.Ş. (2007 – Günümüz)

İletişim : tolgacakmak@gmail.com

Yayınlar:

Çakmak, T., Kilic, M. 2018. Estimation of friction surface temperature of a dry clutch. *International Journal of Heavy Vehicle Systems*.

Çakmak T., Sevilgen G., Kilic, M. 2016. Transient thermal CFD analysis of a dry clutch system. 8th Automotive Technologies Congress, Bursa.

Çakmak, T , Kılıç, M. 2007. The Simulation of a Micro-gas Turbine Cycle and Optimization of the System Components. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 12(1): 97-108.

Çakmak, T. 2012. Stamping Simulation and fatigue life prediction of a clutch cover. 6th Automotive Technologies Congress, Bursa.

Çakmak, T. Kilic, M. 2016. Energy Consumption Audit and Improving Energy Efficiency in an Industrial Plant. 8th International Ege Energy Symposium & Exhibition, Afyon, Turkey, 277-281.

Çakmak, T. Kilic, M. 2017. Clutch Transient Heat Transfer Simulation for Hill Start Vehicle Test Condition. 13th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, Slovenia.

Çakmak, T., Sevilgen, G., Kilic, M. 2018. Heat transfer enhancement in dry clutch pressure plate using ventilation channels. 9th International Automotive Technologies Congress, Bursa.

Kartal, S., Kaya, N., Çakmak T., Karaduman, A., Karpat, F. 2016. Optimal design of automotive cushion disc. 8th Automotive Technologies Congress, Bursa.

Kaya, N., Kartal S., akmak, T., Karpat, F., Karaduman, A. 2015. Shape optimization of clutch cushion disc using differential evolution method. IMECE 2015 Proceedings of the ASME 2015 International Mechanical Engineering Congress & Exposition, Houston, Texas.

Kilic, M., Cakmak T., Sevilgen G. 2016. Clutch Pressure Plate Compactness Effect on the Clutch System Heat Dissipation. 12th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, Spain, 438-444.

Patentler:

| Başvuru No | Buluş Başlığı |
|-----------------------|---|
| TPE 2017/04483 | Kavrama aktivasyon sistemleri için bir kovan |
| TPE 2017/04481 | Göbeğe sahip bir hareket aktarma düzeneği |
| TPE 2017/04479 | Sürtünmeli kavramalar için bir kapak |
| TPE 2017/04475 | Metal plakaya sahip bir hareket aktarma düzeneği |
| TPE 2016/09566 | Soğutma performansı arttırılmış bir atalet plakası |
| TPE 2016/09565 | Soğutma performansı arttırılmış bir ara baskı plakası |
| TPE 2016/09564 | Soğutma performansı arttırılmış bir kapak |
| TPE 2016/04123 | Yeni bir baskı plakası |
| TPE 2015/14966 | Yüksek termal başarılı kuru sürtünmeli kavrama |
| EP3225867A1 | Plate having better cooling system |
| WO2018011214A1 | Clutch cover with increased cooling performance |
| WO2018011216A1 | An intermediate pressure plate with increased cooling performance |