MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANILAN KONTROL FİKSTÜRLERİNİN TASARIMI, İMALATI VE ANALİZİ

RIDVAN TUĞBERK ÖZSÜRÜCÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği
Anabilim Dalı
Makine Mühendisliği Programı

DANIŞMAN
Doç. Dr. Oğuz GİRİT

İSTANBUL, 2024

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANILAN KONTROL FİKSTÜRLERİNİN TASARIMI, İMALATI VE ANALİZİ

RIDVAN TUĞBERK ÖZSÜRÜCÜ

(523220013)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Makine Mühendisliği
Anabilim Dalı
Makine Mühendisliği Programı

DANIŞMAN
Doç. Dr. Oğuz GİRİT

İSTANBUL, 2024

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans tez çalışmam süresince desteğini esirmeyen ve değerli bilgilerini paylaşan danışman hocam Doç. Dr. Oğuz GİRİT'e teşekkür ederim.

Tez çalışmam kapsamında gerçekleştirmiş olduğum 3 aylık Japonya ziyaretim sırasında çeşitli imkanlar sunarak tezimin sonuçlanmasına büyük katkı sağlayan Toyoda Iron Works Co. Ltd. şirketine teşekkür ederim. Ayrıca çalışmam boyunca tecrübelerini paylaşan ve danışmanlık yapan yöneticim Sakamoto HIDEYUKI' ye de ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Tez sürecimde kendisine ayıracağım zamandan fedakârlık ettiğim, beni sürekli destekleyen ve motive eden sevgili eşim Tuğçe ÖZSÜRÜCÜ' ye teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ÖZET iv
ABSTRACT v
SEMBOLLER vi
KISALTMALAR vii
ŞEKİLLER viii
TABLOLAR x
1. GİRİŞ 1
1.1. Fosil Yakıtlar ve Elektrikli Otomobiller 1
1.2. Kontrol Fikstürlerinin Tarihçesi 2
1.3. Kontrol Fikstürlerinin Kullanım Alanları 3
2. KONTROL FİKSTÜRÜ PROJESİ 5
2.1. Kontrol Fikstürlerinin Tasarımı 5
2.2. Kontrol Fikstürü Konsept Hazırlığı 5
2.3. Kontrol Fikstürlerinde Malzeme Seçimi 7
2.3.1. Ölçüm blokları 9
2.3.1.1. Malzeme bilgisi 10
2.3.2. Fikstür tablası 10
2.3.2.1. Malzeme bilgisi 11
2.3.3. Karkas profil yapı 11
2.3.3.1. Malzeme bilgisi 12
2.3.4. Pim, burç, shim gibi standart elemanlar 12
2.3.4.1. Malzeme bilgisi 12
2.4. Kontrol Fikstürlerinin İmalatı ve Montajı 13
2.5. Kontrol Fikstürlerinin Doğrulanması 14
2.6. Kontrol Fisktürlerinin Taşınması ve Depolanması 15
3. ANALİZ ÇALIŞMALARI 17
3.1. Örnek Bir Kontrol Fikstüründe Ağırlık Optimizasyonu 17
3.2. Pil Taşıyıcı Parçası Fikstür Tasarımında İnovatif Çözümler 19

3.2.1. Piller, pil taşıyıcı parçası ve kontrol fikstürü 19
3.2.2. Pil taşıyıcı parçası kalite gereksinimleri..... 20
3.2.3. Karşılaşılan problemler ve geliştirilen inovatif çözümler 21
3.2.3.1. Parçanın farklı set pozisyonları 21
3.2.3.2. Parça ağırlığından dolayı set bloklarının zarar görmesi 22
3.2.3.3. Uzun ölçüm süreleri 23
3.2.3.4. Çarpılma riski..... 24
3.2.3.5. Doğrulama işleminin zorluğu 25
4. SONUÇLAR 27
4.1. Analiz Sonuçları ve Değerlendirmeler..... 27
4.2. Geleceğe Dair Öngörüler..... 28
KAYNAKLAR.....29
ÖZGEÇMİŞ

ÖZET

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANILAN KONTROL FİKSTÜRLERİNİN TASARIMI, İMALATI VE ANALİZİ

Otomobillerin yaygın kullanımı, 19. yüzyılın sonlarına dayanmaktadır ve günümüzde sayıları milyarlarla ifade edilmektedir. Bu otomobillerin tasarımı, ilk yıllarından itibaren giderek daha kompleks bir yapıya bürünmüş, binlerce farklı boyutta parça içermeye başlamıştır. Araçların yolcularını rahat ve güvenli bir şekilde taşıyabilmesi için, bu parçaların birbiri ile mükemmel bir uyum içinde çalışması şarttır. Parçaların mekanik uygunluğunun yanı sıra, boyutsal doğruluğunun da belirli standartları karşılaması ve üretimin her safhasında düzenli olarak kontrol edilmesi gerekmektedir. Otomotiv endüstrisinin tedarik zinciri boyunca bu tür kontroller, kontrol fikstürleri aracılığıyla yapılmaktadır. Kontrol fikstürlerinin evrimi, otomobillerin kendisi kadar köklü bir geçmişe sahiptir. Bu çalışmada, otomotiv sektöründe kullanılan kontrol fikstürleriyle ilgili bir literatür incelemesi yapılmış ve kontrol fikstürlerinin geçmişi üzerinde durulmuştur. Bir fikstür projesinde temel adımlardan ilki olan tasarım sürecine değinilmiş ve tasarımda kısıtlayıcı etmenlerden biri olan malzeme seçimi kriterleri irdelenmiştir. Bir kontrol fikstürünü oluşturan başlıca bileşenler için malzeme seçimi noktasında sektörün pratiğe dökülmüş uygulamaları bilimsel temelleriyle açıklanmıştır. Kontrol fikstürlerinin imalatında kullanılan geleneksel imalat yöntemlerine ek olarak yenilikçi imalat yöntemleri de incelenmiştir. İmalat sonrası ürünü devreye alma sürecinin son halkası olan fikstür doğrulama işlemleri açıklanmış ve devreye alma sonrası özellikle depolama ve taşıma işlemlerinde dikkat edilmesi gereken noktalara değinilmiştir. Tüm bu literatür çalışmalarının bir ürünü olarak örnek bir otomobil parçası için fikstür konsepti hazırlanarak tasarımı gerçekleştirilmiş ve mevcut malzemeler özelinde yapısal analizler yardımıyla ağırlık optimizasyon çalışması yapılmıştır. Son olarak otomobil gövde parçalarından oldukça farklı kalite gereksinimlerine sahip olan bir pil taşıyıcı parçasına ait kontrol fikstürü özelinde karşılaşılan zorluklara inovatif tasarım çözümleri geliştirilmiştir. Çalışmamızın sonunda edindiğimiz bulgulara ve değerlendirmelere yer verilmiş ve kontrol fikstürlerinin geleceğine dair öngörüler paylaşılmıştır.

ABSTRACT

DESIGN, MANUFACTURING AND ANALYSIS OF CONTROL FIXTURES USED IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

The widespread use of automobiles, which number in billions worldwide today, traces back to the late 19th century. Since its invention, automobile designs have evolved into intricate structures comprising thousands of parts of varying sizes. These parts must seamlessly interact to ensure safe and comfortable transportation for passengers. Achieving this requires not only mechanical excellence but also precise dimensional accuracy, meeting required standards that must be periodically checked at each stage of production. Control fixtures play a crucial role in providing this quality control throughout the automotive industry's supply chain, with their development running parallel to that of automobiles. In this study, a literature review was conducted on the fixture designs used in the automotive industry, including an overview of the historical background of fixture designs. The initial step in a fixture project, the design process, was discussed along with an examination of the criteria for material selection, which is one of the constraining factors in design. The practical applications of material selection for the main components constituting a fixture were explained with scientific foundations. Innovative manufacturing methods were also investigated alongside traditional manufacturing methods used in fixture production. The final stage of the post-manufacturing process, fixture validation, was elucidated, including considerations for storage and transportation post-validation. As a culmination of these literature reviews, a fixture concept was developed and designed for a sample automotive part, followed by weight optimization studies through structural analyses based on existing materials. Lastly, innovative design solutions were developed for a fixture for a battery carrier component with significantly different quality requirements from automotive body parts. Findings and evaluations from our study were presented, and forecasts regarding the future of fixture designs were discussed.

SEMBOLLER

mm **:** Milimetre

Al **:** Alüminyum

HRC **:** Rockwell Sertlik Değeri (Hardness Rockwell C)

MPa **:** Megapascal

HV **:** Vickers Sertlik Değeri (Hardness Vickers)

gr **:** Gram

kg **:** Kilogram

KISALTMALAR

3D **:** 3 Boyutlu (3 Dimensional)

BEV **:** Elektrikli Otomobiller (Battery Electric Vehicles)

C/F **:** Kontrol Fikstürü (Control Fixture)

CMM **:** Koordinat Ölçme Makinesi (Coordinate Measurement Machines)

CNC **:** Bilgisayarlı Sayısal Kontrol (Computer Numerical Control)

EDM **:** Elektro Erozyon (Electro Discharge Machining)

FDM **:** Eriyik Yığma Modellemesi (Fused Deposition Modelling)

HEV **:** Hibrit Otomobiller (Hybrid Electric Vehicles)

PHEV **:** Şarj Edilebilir Hibrit Otomobiller (Plug-in Hybrid Electric Vehicles)

SLS **:** Seçici Lazer Sinterleme (Selective Laser Sintering)

UHSS **:** Çok Yüksek Dayanımlı Çelik (Ultra High Strength Steel)

URES **:** Sonuç Yer Değiştirmesi (Resultant Displacement)

VCI **:** Uçucu Pas Önleyici **(**Volatile Corrosion Inhibitor)

WEDM : Tel Erozyon (Wire Cutting Electro Discharge Machining)

ŞEKİLLER

Şekil 1.1 Ford Model T……..3

Şekil 1.2 Japonya' da 1930 yılı Toyota AA üretimi ve fikstür kullanımı…..……..3

Şekil 1.3 Otomobil üretim ekosistemi…...…….4

Şekil 1.4 Kontrol fikstürü örnekleri…….……..4

Şekil 2.1 Örnek bir kontrol fikstürü tasarımı…….…….5

Şekil 2.2 Fikstür konsept çalışması……6

Şekil 2.3 Konumlama bölgelerinde dikkat edilecek hususlar…….6

Şekil 2.4 Kontrol fikstürlerinde kullanılan bazı ölçü aletleri…….7

Şekil 2.5 Başlıca fikstür bileşenleri……8

Şekil 2.6 Plastik tabla üzerine konumlandırılmış polimer kompozit fikstür bileşenleri…..9

Şekil 2.7 Geçme sac yöntemine örnek bir uygulama ……..……..9

Şekil 2.8 İmalatı gerçekleştirilmiş ve montajı yapılmış sabit bloklar……..……10

Şekil 2.9 Karkas profilsiz ve profilli tablaya sahip fikstürler……10

Şekil 2.10 Karkas profil yapı……..……..11

Şekil 2.11 Çeşitli pim, burç ve shim örnekleri……..……12

Şekil 2.12 Başlıca imalat adımları…….……...……13

Şekil 2.13 Alternatif üretim teknikleriyle örnek bir uygulama……...……..14

Şekil 2.14 CMM tipleri……..……..……14

Şekil 2.15 Fikstür setleme işleminde kullanılan referans noktaları……..……15

Şekil 2.16 Farklı taşıma tekniklerine adapte edilmiş fikstürler. ……..…..…..…….16

Şekil 2.17 Özel fikstür arabaları…….……..……16

Şekil 3.1 Parça görseli ve kontrol standardı…….17

Şekil 3.2 Fikstür tasarımı ve tabla sehim analizi……..18

Şekil 3.3 Kalınlığı 15 mm ve 12 mm olarak verilen tablalar için sehim analizi……..…18

Şekil 3.4 Pil taşıyıcı parçası ve araçtaki konumu……..20

Şekil 3.5 Bir pil taşıyıcı parçasını oluşturan bileşenler……20

Şekil 3.6 Pil taşıyıcı parça kontrolü için farklı set pozisyonları……21

Şekil 3.7 Hareketli set blokları……..22

Şekil 3.8 Hareketli kaldıraç mekanizması…….23

Şekil 3.9 Komparatörlü ölçüm bloğu……24

Şekil 3.10 Karkas profil yapı……..……...25

Şekil 3.11 Fikstür tablası ve ölçüm cihazının konumlandırılması…..……...26

TABLOLAR

Tablo 2.1 Fikstürleri oluşturan başlıca bileşenler…… ……..8

1. GİRİŞ

Otomobiller, çeşitli malzeme, şekil ve ölçülerde ve belirli fonksiyonları yerine getirmek üzere binlerce parçanın çeşitli birleştirme yöntemleri kullanılarak bir araya getirilmesiyle oluşturulur. Bu parametrelerin gereksinimleri karşılama başarısı, bir otomobilin kalitesini belirleyen önemli bir faktördür. Kalite, markanın bu konudaki politikasını ve uygulamadaki kararlılığını yansıtan bir parametredir ve asla tesadüfi bir çıktı değildir. Otomobilleri oluşturan parçaların şekilsel, ölçümsel ve fonksiyonel doğruluğu ile birleştirme yöntemlerinin etkinliğinin tespiti kritik bir süreçtir ve kontrol fikstürleri bu süreçte önemli bir rol oynar. Örneğin, bir ön çamurluk parçasının şekilsel doğruluğu, bir arka travers parçasının ölçümsel doğruluğu veya bir cam açma mekanizmasının fonksiyonel doğruluğu ile punta kaynak yöntemiyle birleştirilmiş bir araç gövdesinin montaj doğruluğu kontrol fikstürleriyle belirlenir. Kontrol fikstürlerinin tasarımı ve imalatı, üretim ekosisteminde son derece kritik ve hassas bir görev üstlendiklerinden dolayı detaylı mühendislik çalışmalarını gerektirir. Buna ek olarak elektrikli araçların da hayatımıza girişiyle otomobil parçalarının evrimi de hızlanmıştır. Bu durum yine kontrol fikstürleri özelinde yaşanan gelişmelerin de hızlanmasına zemin hazırlamıştır.

1.1. Fosil Yakıtlar ve Elektrikli Otomobiller

İcadından bugüne, aslında kısa sayılabilecek bir tarihe sahip olan otomobiller yakın geçmişe kadar ana güç kaynağı olarak fosil yakıtla çalışan motorlara sahipti. İlk dönemlerde bu taşıtların yaydığı emisyon, aerodinamik verimlilikleri ve sürdürülebilirlik günümüzde olduğu kadar ön planda değildi. Ancak her sanayi devrimiyle birlikte insanoğlu, gezegendeki kaynakların sonsuz olmadığı gerçeğiyle biraz daha yüzleşti. Bu durum üreticileri daha farklı arayışlara itti. Bu arayışın yegâne hedefi ise; daha çevreci, her anlamda daha verimli ve sürdürülebilir bir üretim ekosisteminden çıkan otomobiller olmuştur.

Günümüzde daha çevreci, her anlamda daha verimli ve sürdürülebilir teknolojilere sahip otomobiller, tüm üreticilerin ortak paydası haline gelmektedir. Üreticileri bu paydada birleştiren ise, enerji kaynağı olarak kullanılan fosil yakıtlar ve bu kullanımın sonuçlarıdır. Fosil yakıtların kullanımı, önemli miktarda sera gazı salınımına yol açarak küresel ısınma gibi dünya çapında etkileri olan sonuçların ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Bu

nedenle, günümüzde güneş ve rüzgâr gibi alternatif ve yenilenebilir enerji sistemleri, çevre dostu ve sürdürülebilir işletim sağladıkları için gelecekteki önemli enerji kaynakları olarak kabul edilmektedir (Hadjipaschalis ve ark., 2009). Ancak, bahsedilen alternatif enerji kaynaklarının çoğu, hava koşulları gibi doğal faktörlere son derece bağımlıdır. Örneğin, güneş enerjisi sistemleri güneş ışığına, rüzgâr enerjisi sistemleri ise rüzgâr hızına bağlı olarak verim gösterir. Ayrıca bu enerji kaynakları çeşitli iklim koşullarına ve coğrafi bölgelere göre farklılık gösterebilir, bu da kullanımlarını etkileyebilir. Bu bağlamda, enerji ihtiyacının her zaman başarıyla karşılanabilmesi için enerji depolama üniteleri büyük bir öneme sahiptir (Erdinç ve ark, 2011).

Bu durumun otomotiv sektöründeki yansımalarına dönecek olursak, günümüzde içten yanmalı motorların gelişimine paralel olarak emisyon değerleri geçmişe kıyasla oldukça azalmıştır. Ancak, daha çevreci teknolojilerin geliştirilmesiyle birlikte önce hibrit araçlar (HEV) kullanılmaya başlanmış, ardından tamamen elektrikli araçların (BEV) yaygınlaşması hız kazanmıştır. Günümüzde ise bu iki tip otomobilin bir kombinasyonu olan PHEV, yani şarj edilebilir hibrit araçlar kullanılmaya başlanılmıştır.

1.2. Kontrol Fikstürlerinin Tarihçesi

Otomobillerin yaygınlaşmasıyla birlikte üretim miktarları da hızla artmıştır. Bu artışla birlikte sürekli olarak standart kaliteye sahip olmak da büyük bir önem arz etmektedir. Örneğin, Şekil 1.1’ de gösterilen ve 1909-1927 yılları arasında yaklaşık 15 milyon adet üretilen Ford Model T, halen dünya genelinde en çok satılan üçüncü otomobil konumundadır (Ford Motor Company, 2020). Bu kadar yüksek üretim miktarlarının o dönemde elde edilmiş olması, otomotiv endüstrisinde etkin kalite kontrolünün ne kadar hızlı bir şekilde önem kazandığının bir göstergesidir. Günümüze kıyasla otomobil parçaları çok daha basit yapılı olsa da, istenilen kaliteye ulaşılamaması ciddi prestij ve müşteri kayıplarına zemin hazırlamaktadır.



Şekil 1.1 Ford Model T (Shipler H., 2002)

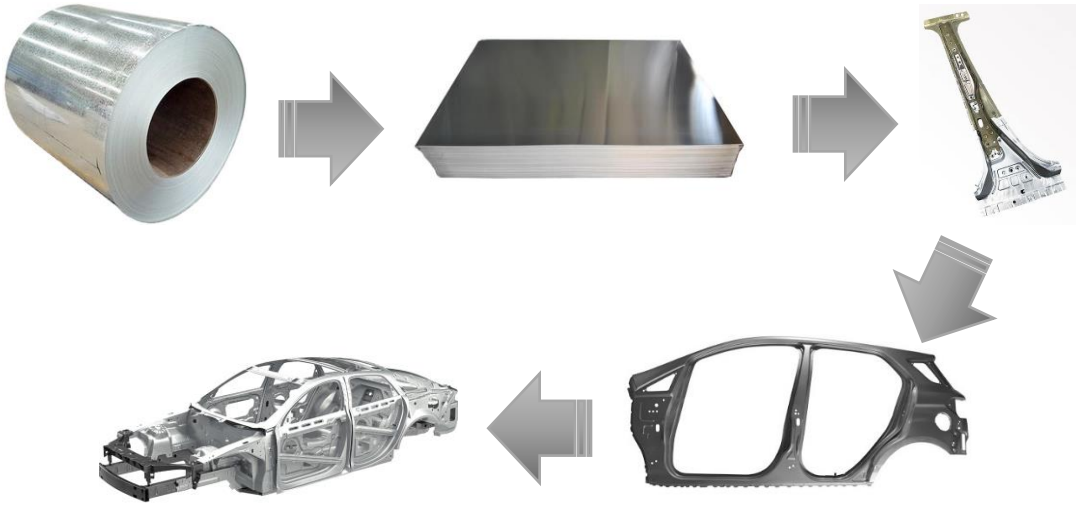
İlk dönemlerde, otomobil parçalarının üretimi sırasında el ile şekillendirme oldukça yaygındı. Bu durumda, parçaların boyutsal olarak kontrol edilmemesi, oluşabilecek varyasyon riski nedeniyle parçaların araç gövdesine montajını zorlaştırabilir hatta mümkün kılmayabilir. Şekil 1.2' den de anlaşılacağı gibi, ilk dönemlerde Toyota AA modeli için ahşap malzemeden üretilen gövde fikstürü üzerinde parçalar tespit edilerek montaj uyumu ve şekilsel doğruluğu kontrol edilmekteydi. Günümüze kıyasla kontroller daha yüzeysel olsa da, kontrol fikstürlerinin temelleri bu şekilde atılmıştır.



Şekil 1.2 Japonya' da 1930 yılı Toyota AA üretimi ve fikstür kullanımı

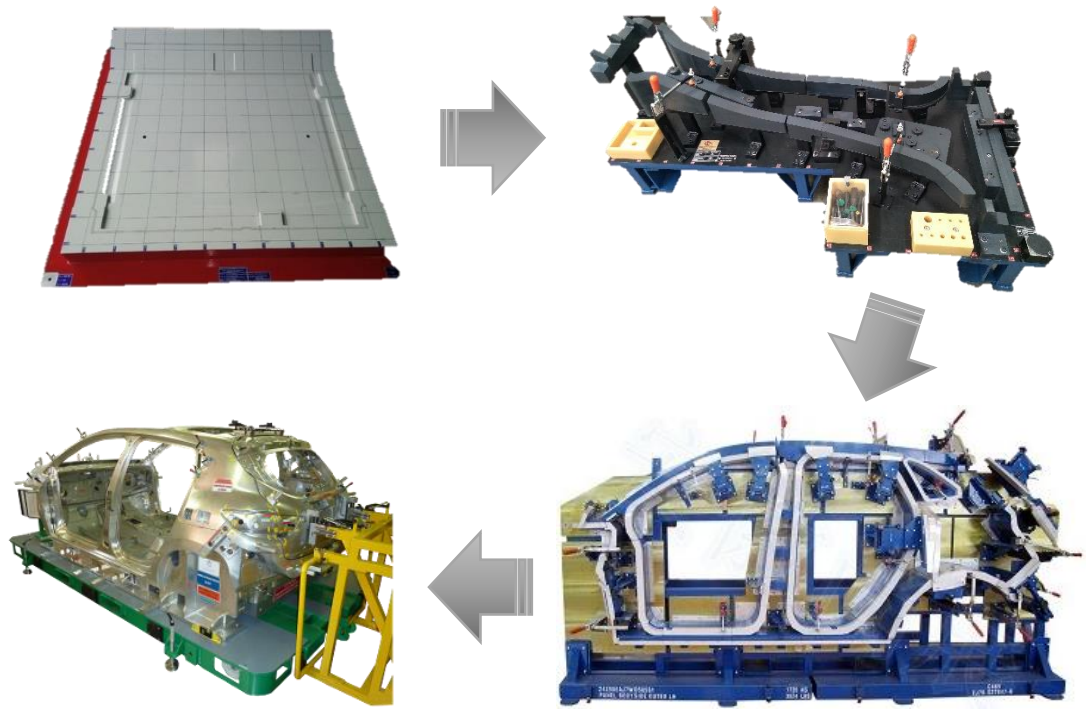
1.3. Kontrol Fikstürlerinin Kullanım Alanları

Kontrol fikstürleri, otomobil üretim sürecinin her aşamasında gereklidir. Şekil 1.3' ten görüleceği üzere, düz sac malzemeler şekillendirilerek küçük parçalar haline getirilir, bu parçalar birleştirilerek daha büyük parçalar oluşturulur ve son olarak bu büyük parçalar birleştirilerek araç gövdesi tamamlanır. Her aşamada etkin bir kontrol için kontrol fikstürlerinin kullanılması bir sonraki aşamada olası sorunları önlemenin de anahtarıdır.



Şekil 1.3 Otomobil üretim ekosistemi (Toyoda Iron Works, 2020)

Örnek, otomobilin sac gövdesi üzerinden anlatılmış olsa da, bir otomobil farklı malzemelerden üretilen çeşitli ve fonksiyonel parçaların bir araya gelmesiyle oluşur. Örneğin, silecek mekanizmasının çalışması veya metrelerce uzanan kablolama rotasının uygunluğu gibi kontroller, doğru bir fikstürlemeyle gerçekleştirilmelidir. Sonuç olarak, Şekil 1.4' ten görüleceği üzere bir üretim merkezinde otomotivle ilgili herhangi bir şey üretiliyorsa, orada mutlaka kontrol fikstürlerinin kullanıldığını söyleyebiliriz.



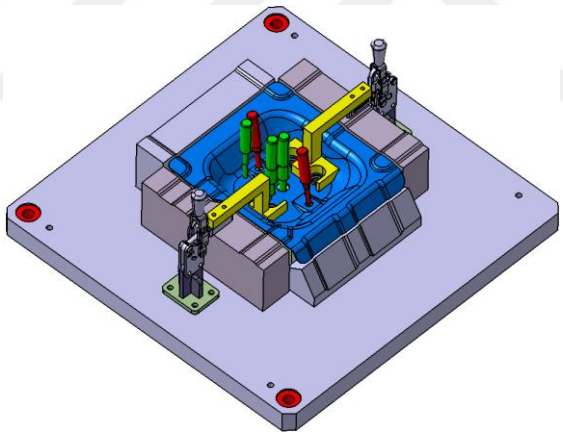
Şekil 1.4 Kontrol fikstürü örnekleri (2mi Group, 2015)

2. KONTROL FİKSTÜRÜ PROJESİ

2.1. Kontrol Fikstürlerinin Tasarımı

Tasarımlar genellikle karmaşık parçalar için yüzey modelleme gerektirdiği için, genellikle Catia, Solidworks, NX Unigraphics gibi programlar kullanılarak yapılır. Bununla birlikte, parça tasarımına da bağlı olarak 2 boyutlu düzlemde AutoCAD benzeri yazılımlarla veya hatta bir teknik ressam tarafından kâğıt üzerinde dahi tasarım yapılabilir. Şekil 2.1' de Catia programı ile tasarlanmış bir fikstür örneği verilmiştir.

Fikstür tasarımında kullanılacak tasarım aracına tam olarak hakim olmak yeterli değildir. Fikstür tasarımcısı, kalıp tasarımcısı gibi ayrı bir uzmanlığa sahip olmalıdır. Tasarım adımları doğru bir planlama ve sıralamayla gerçekleştirilmelidir; aksi takdirde tasarım süreleri uzar ve bazen tasarımın baştan yapılması gerekebilir. Örneğin, basit bir fikstür bloğunun ilk aşamada tasarlanması gerektiği halde son aşamada tasarlanması durumunda, blok diğer blokların çalışmasını engelleyebilir ve bu hatayı gidermek zorlaşabilir. Bazen basit bir hatayı gidermek, fikstürü baştan tasarlamaktan daha zor olabilir.

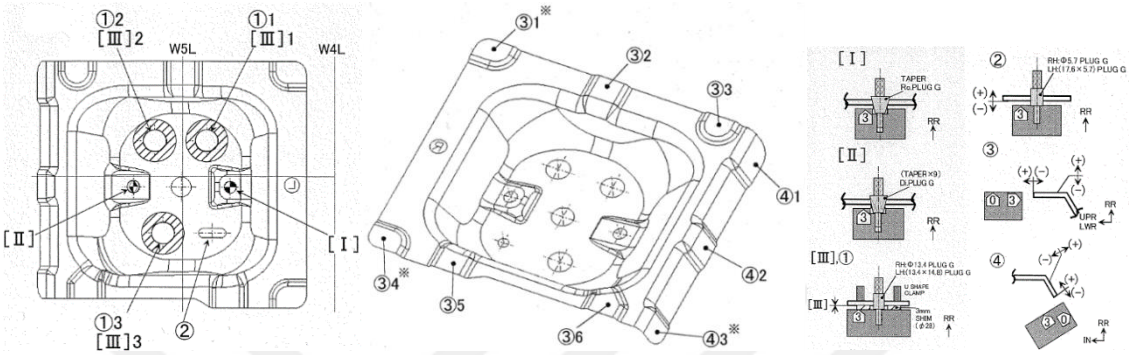


Şekil 2.1 Örnek bir kontrol fikstürü tasarımı

2.2. Kontrol Fikstürü Konsept Hazırlığı

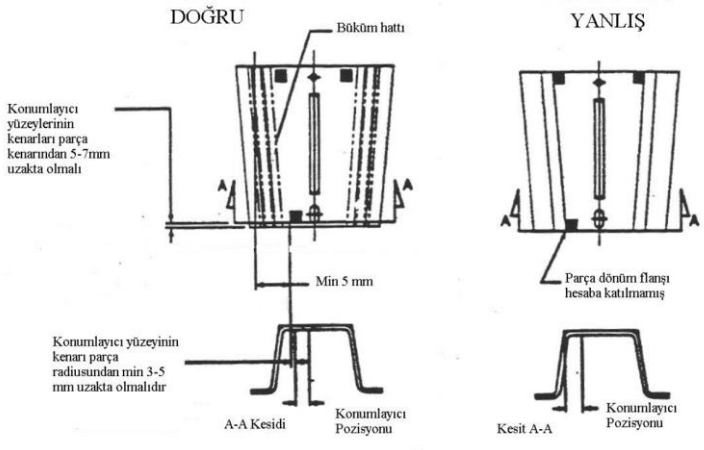
Kontrol fikstürü tasarımının ilk adımı, kontrol edilecek parçanın kontrol noktalarını ve fikstüre sabitleme yöntemini belirlemektir. Bu aşamadan sonra, bir kontrol fikstürü konsepti oluşturulmalı ve tasarımda bu konsepte sadık kalınmalıdır. Konsept tasarımı, fiili tasarım öncesinde oldukça önemli bir süreçtir ve titizlikle planlanmalıdır. Genel olarak, parça konumlandırma rijitliğini artırmak için, konumlama deliklerinin ve yüzeylerinin

birbirine olan mesafelerinin toplam parça boyunun %80' inden az olmaması hedeflenir. Büyük parçalarda (tavan sacı, ön çamurluk, kaput vb.) çok yakın konumlandırmaların parça hareketini artırarak ölçüm hassasiyetini düşürebileceği unutulmamalıdır. Tasarım kısıtları gereği, %80 kuralı esnetilebilir. Örnek olarak, Şekil 2.2' de tasarım kısıtları ve parçanın küçük olması nedeniyle bu kuralın esnetildiği görülmektedir (Aydoğdu, 2006).



Şekil 2.2 Fikstür konsept çalışması

Konumlama yüzeyi, parça radyusuna yakın ise en az 5 mm mesafe bırakılmalıdır. Ayrıca, parça kenarından da en az 3 mm uzaklıkta olmalıdır. Şekil 2.3' te doğru ve yanlış uygulamalar gösterilmiştir. Konumlama yüzeyleri için düz yüzeyler tercih edilmelidir, ancak parça tasarımı gereği zorunlu hallerde farklı yüzeyler kullanılabilir. Konumlama yüzeyleri, imalat sürecinde ilk form kalıbından şekil alacak bölgeler arasından seçilmelidir. Seçilen konumlama alanı düzlemsel olmalı ve işlem sürecinde varyasyon göstermemelidir. Pres operasyonlarında dalgalanma veya kırışıklık riski taşıyan bölgelerden kaçınılmalıdır (Aydoğdu, 2006).



Şekil 2.3 Konumlama bölgelerinde dikkat edilecek hususlar (Aydoğdu, 2006)

Konsept oluşturulduktan sonra kullanılacak fikstür elemanları belirlenmeli ve malzeme seçimleri yapılmalıdır. Bu elemanlar arasında pimler, ölçüm blokları, sabitleme elemanları, burçlar ve standart bağlantı elemanları bulunur. Malzeme seçiminde elemanların geometrisi, bağlantı ve montaj yöntemi, kullanım ömrü ve performansı gibi birçok faktör etkilidir. Örneğin, Ck45 çelik malzeme ile 7075 serisi Al malzeme karşılaştırıldığında, mekanik özellikleri nedeniyle Ck45 çelik ile daha ince ancak daha ağır bir fikstür tablası tasarlanabilir.

Kontrol fikstürü üzerinde parça ölçümü yapılırken Şekil 2.4' te örnekleri verilen çeşitli yardımcı ölçü aletleri kullanılır. Tasarım sürecinde fikstürün bu ölçü aletleriyle uyumlu olması önemlidir ve bu durum simüle edilmelidir. Özellikle insan elinin ulaşması gereken dar alanlara dikkat edilmeli ve güvenlik riskleri, örneğin sıkışma, göz önünde bulundurulmalıdır. Tabla boyutu ve fikstür ağırlığına bağlı olarak sehim riski ortaya çıkabilir, ancak basit bir yapısal analizle bu risk kontrol altına alınabilir. Fikstür imalatçıları genellikle pratik deneyimlerini kullanarak bu tür durumları çözerler ve gerektiğinde karkas gibi destek yapıları fikstür altına yerleştirilebilir.

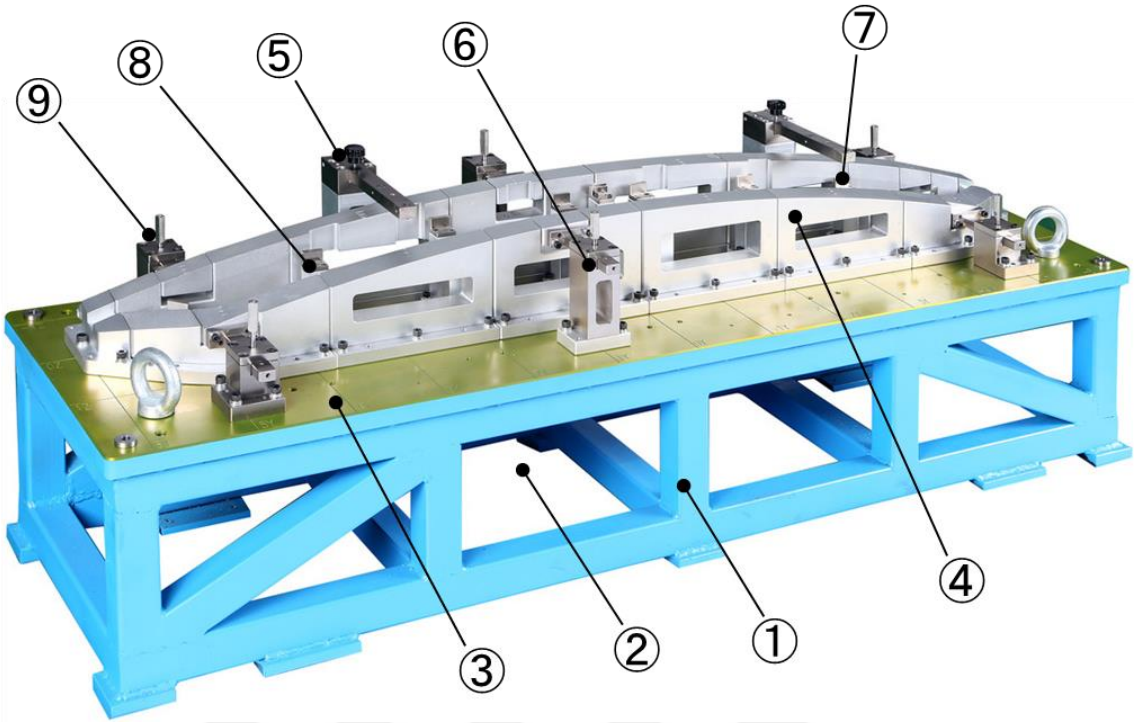


a-çelik cetvel b-kumpas c-sentil d-danchi

Şekil 2.4 Kontrol fikstürlerinde kullanılan bazı ölçü aletleri

2.3. Kontrol Fikstürlerinde Malzeme Seçimi

Kontrol fikstürlerindeki bileşenler, çeşitli fonksiyonları yerine getirir ve bu nedenle malzeme seçimi yapılırken kullanım ömrü, aşınma riski, parça geometrisi ve ağırlığı, çalışma sıcaklığı gibi birçok faktör göz önünde bulundurulur. Kontrol fikstürleri, pek çok farklı birleştirme yöntemleri ile montajı gerçekleştirilen farklı parçaların bir araya gelmesiyle oluşur. Spesifik durumlar göz ardı edildiğinde fikstürleri oluşturan çoğu bileşen tüm fikstürlerde ortaktır. Şekil 2.5 üzerinde bir fikstürün bileşenleri ve Tablo 2.1 üzerinde ise bu bileşenlerin adlandırmaları ana hatlarıyla örneklendirilmiştir.



Şekil 2.5 Başlıca fikstür bileşenleri (Guo, 2018)

Tablo 2.1 Fikstürleri oluşturan başlıca bileşenler

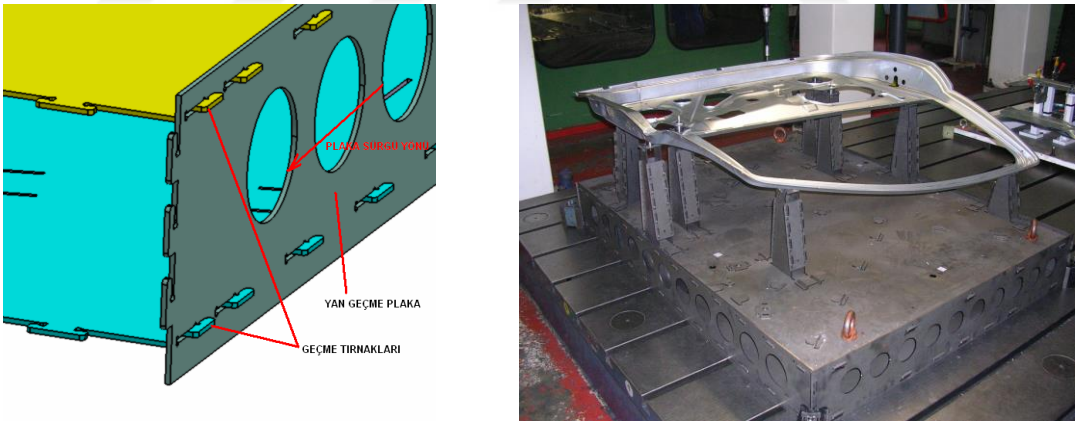
No	Bileşen	No	Bileşen
1	Karkas profil yapı	**6**	Sök-tak bloklar
2	Taşıma yuvası	**7**	Pimler-Burçlar
3	Fikstür tablası	**8**	Shimler
4	Sabit bloklar	**9**	Klemp grubu
5	Hareketli bloklar	**-**	Bağlantı elemanları

Tablo 2.1 üzerinde verilen fikstür bileşenleri için ileride bahsedilecek malzeme kullanımları, fikstür imalatçıları için ağırlıklı olarak pratiğe dökülmüş durumdadır. Tamamen plastik veya ahşap malzemeler kullanılarak imal edilmiş kontrol fikstürü örnekleri mevcuttur. Fikstürün istenen performansı ve dayanıklılığı sağlaması önemlidir, bu nedenle malzeme seçiminde esneklik bulunmaktadır. Örneğin, kısa süreli prototip amaçlı kullanılacak küçük parçalar için düşük maliyetli malzemeler tercih edilebilir. Şekil 2.6' da bu duruma bir örnek gösterilmiştir. Ancak, uzun süreli üretimlerde ve yüksek üretim hacimlerinde kullanılan fikstürlerde zamanla paslanma, aşınma gibi riskler dikkate alınmalıdır. Kaliteden ödün vermek, fikstürlerin kullanım ömrünü kısaltabilir ve maliyetleri artırabilir.



Şekil 2.6 Plastik tabla üzerine konumlandırılmış polimer kompozit fikstür bileşenleri

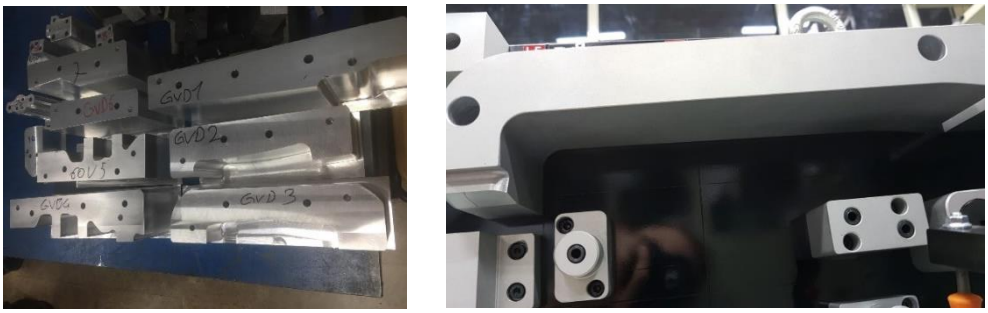
Kontrol fikstürü tasarımı için Şekil 2.7' de gösterilen geçme sac yöntemi de kullanılabilmektedir. Bu yöntemde, sac plakalar birbirine geçerek taşıyıcı bir gövde oluşturur ve bu gövdeye geçme yöntemiyle bağlanabilen üniteler kullanılarak gerekli referans noktaları sağlanır. Geçmeler yatay ve dikey düzlemde farklı parçalar için yapılır ve kendinden kilitlemeli bir sistem oluşturulur. Bu yöntemin klasik fikstürlere göre zaman ve maliyet avantajı sağladığı bilinmektedir, ancak kullanım alanı parça tasarım kısıtlamalarından dolayı sınırlıdır (Koca, 2006).



Şekil 2.7 Geçme sac yöntemine örnek bir uygulama (Koca, 2006)

2.3.1. Ölçüm blokları

Bu bloklar kullanılan malzeme türüne göre fikstür tablasına somun-cıvata bağlantısı ya da epoksi benzeri yapıştırma yöntemleri ile tabla üzerine monte edilirler. Çeşitli ölçü aletleri kullanılarak iş parçasının ölçümünü sağlayan ve oldukça hassas işleme gerektiren elemanlardır. Şekil 2.8' de imalatı gerçekleştirilmiş blok örnekleri verilmiştir.



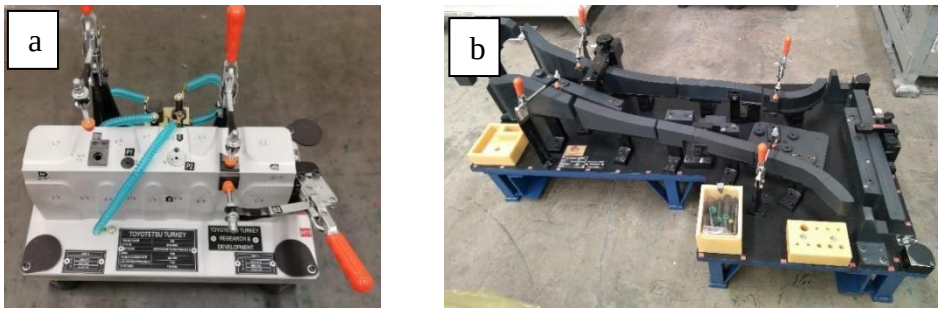
Şekil 2.8 İmalatı gerçekleştirilmiş ve montajı yapılmış sabit bloklar

2.3.1.1. Malzeme bilgisi

Ölçüm bloklarında temel gereksinim hızlı talaş kaldırılabilme kabiliyetidir. Ancak imal edilecek kontrol fikstüründe kontrolünü gerçekleştireceğimiz parçanın mekanik özellikleri, günlük ölçüm frekansı ve fikstürden beklenen kullanım ömrü gibi etkenler malzeme seçiminde bizi kısıtlar. Otomotiv literatüründe UHSS (çok yüksek dayanımlı çelik) olarak adlandırılan sert saclardan üretilen parçalar ve yine ağır parçalar için 7075 serisi Al malzemeler ve 105WCr6 takım çelikleri yaygın olarak kullanılır (Tsang ve ark., 2018). Genellikle çok sert olmayan, 780 MPa'a kadar çekme dayanımına sahip otomobil sac parçaları ve plastik parçalar için de 7075 serisi Al malzemeler veya Raku-Tool WB1700 ve Necuron 1300 gibi çeşitli üreticilerin sunduğu polimer kompozit malzemeler de tercih edilmektedir (RAMPF, 2021) (Necumer, 2019).

2.3.2. Fikstür tablası

Fikstür tablası, tüm ölçüm elemanları ve yardımcı bileşenler için taşıyıcı zemin işlevi görür. Ayrıca tüm ölçüm blokları fikstür tablasına sabitlenir. Dolayısıyla fikstür tablasının rijitliği ve düzlemselliği, fikstür performansını doğrudan etkiler. Şekil 2.9' da karkas profilli ve profilsiz fikstür tablasına sahip fikstür örnekleri gösterilmiştir.



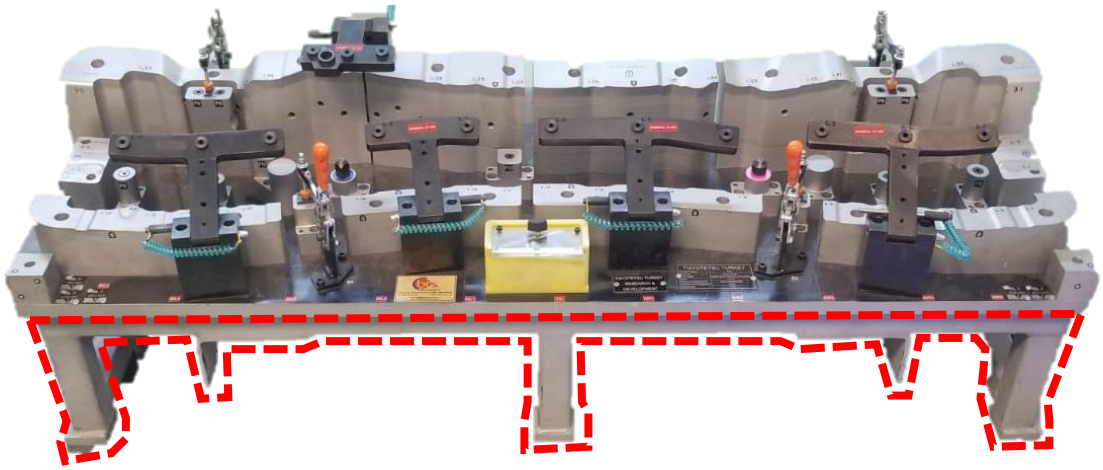
Şekil 2.9 Karkas profilsiz (a) ve profilli (b) tablaya sahip fikstürler

2.3.2.1. Malzeme bilgisi

Fikstür tablalarında talaşlı işlenebilirlik, karkas profil bulunuyorsa kaynaklanabilirlik ve rijitlik aranan en önemli özelliklerdendir. Karkas profil bulunmayan fikstürlerde; hafifliği sayesinde taşınma kolaylığı, talaşlı işleme hızı ve korozyon direnci gibi durumlarda avantaj sağlamaları nedeniyle 7075 serisi Al malzeme kullanılmaktadır (Şeker ve ark., 2015). Bunların haricinde özellikle karkas profilli büyük fikstürlerde, Al malzemenin ağırlık avantajı çok kısıtlı kaldığından ve kaynaklanabilirlik gereksiniminden dolayı Ck45 çelik malzeme kullanılmaktadır (Erol, 2017). Bu malzemenin kullanıldığı fikstürlerde karkas profil yapı ile kaynaklı birleştirme sonrası mutlaka gerilme giderme uygulanmalı ve korozyona karşı mutlaka önlem alınmalıdır.

2.3.3. Karkas profil yapı

Karkas profil yapılar Şekil 2.10' dan görüleceği üzere genellikle kontrol fikstürüne bir destek elemanı niteliğinde kullanılır. Büyük boyutlu kontrol fikstürlerinde, tabla üzerinde bulunan bileşenlerin ağırlığından dolayı sehim problemi meydana gelebilmektedir. Bu sehim oluşumu ölçümde kullanılacak blokların doğruluğunu kötü yönde etkilediğinden, istenmeyen bir durumdur. Sektörde pratik olarak fikstür tablasında azami sehimin 0,1 mm değerini geçmesi istenmez. Tablasının en uzun kenar boyu 1000 mm üzerinde olan fikstürlerde sehim riskine özellikle dikkat edilmelidir. Karkas profil yapılar bu sehimi engellemek adına fikstür tablasının altında tasarlanırlar. Kontrol fikstürü henüz tasarım aşamasındayken yapılacak statik analizler sonucu sehim riski var ise, karkas profil yapı mutlaka kullanılmalıdır.



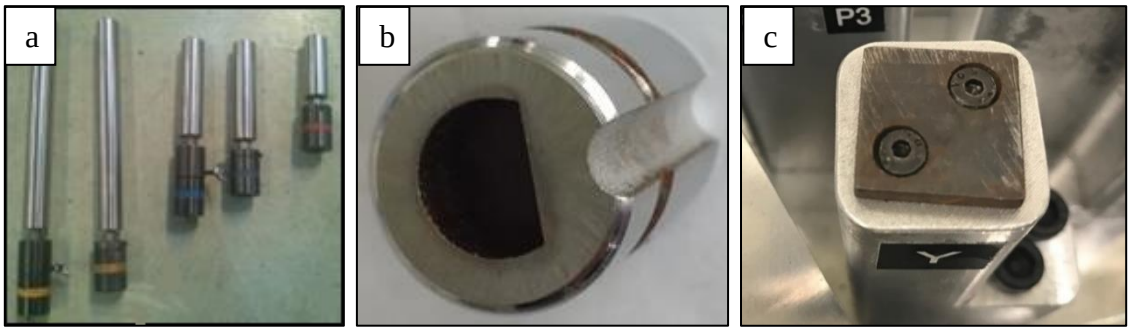
Şekil 2.10 Karkas profil yapı

2.3.3.1. Malzeme bilgisi

Karkas profil yapı, içi boş profillerin birbirlerine kaynatılarak birleştirilmesi ile oluşturulur. Sonrasında bu yapı fikstür tablasının altına kaynatılır. Bu nedenle kolay işlenebilen, kaynak kabiliyeti yüksek ve kesimi kolay St37 malzemeden imal edilirler (Baeslack, 1993).

2.3.4. Pim, burç, shim gibi standart elemanlar

Kontrol fikstürlerinde bulunan pimler genellikle bir bloğu sabitlemek, ölçülecek parçayı fikstür üzerine setlemek veya yine parça üzerindeki deliklerin kaçıklığını kontrol etmede geçer-geçmez mastar olarak kullanılma gibi amaçlarla tasarlanırlar. Burçlar ise çoğunlukla pimlerin sök-tak işleminin yapıldığı bileşenlerdir. Genellikle 7075 Al veya polimer kompozit ölçüm bloklarının pimlerle olan temasını kesmek amacıyla kullanılırlar. Bir diğer deyişle somun ve cıvatanın ilişkisine benzer bir şekilde burç-pim ilişkisi vardır. Shimler, ölçüm yapılacak parçanın fikstüre setlenmesi için birer yardımcı eleman görevi görürler. Ölçülecek parça ile sürekli temas halinde çalışırlar ve çoğunlukla üstten bir klemp baskısına maruz kalırlar. Çoğunlukla havşa başlı cıvatalar kullanılarak bir blok üzerine sabitlenirler. Şekil 2.11' de pim, burç ve shim örnekleri sırasıyla gösterilmiştir.



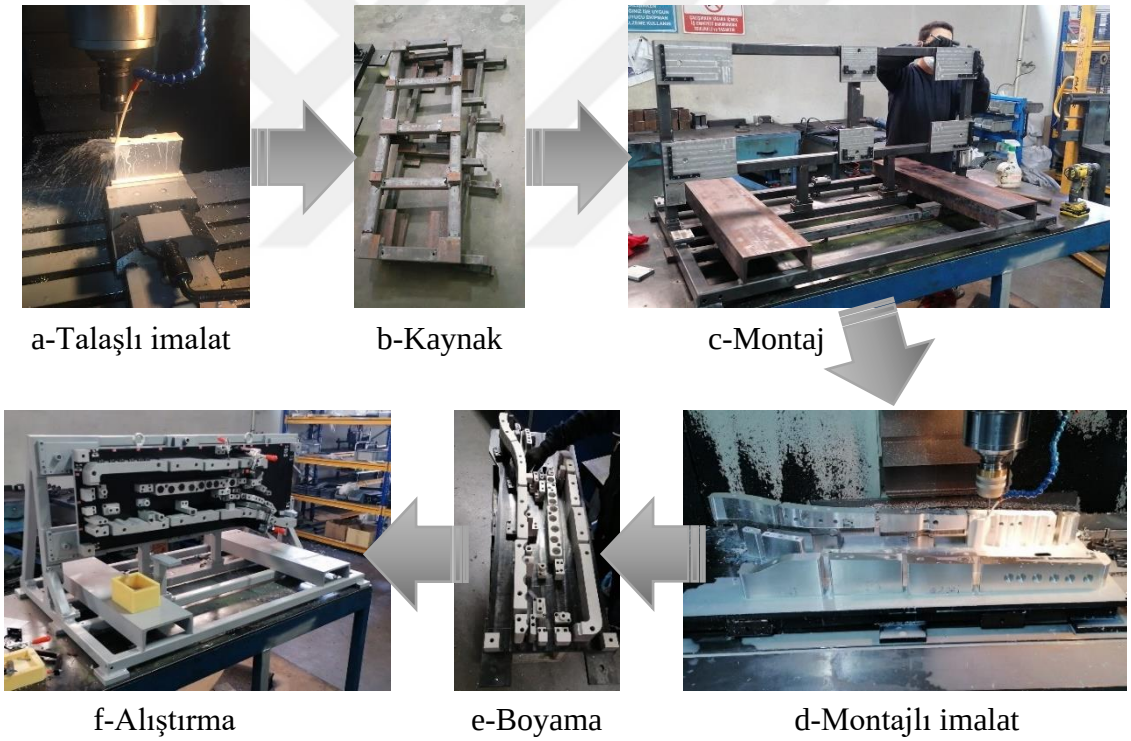
Şekil 2.11 Çeşitli pim (a), burç (b) ve shim (c) örnekleri

2.3.4.1. Malzeme bilgisi

Kontrol fikstürü pimleri, burçları ve shimleri genellikle 105WCr6 malzemeden imal edilirler. Çok sık sök-tak işlemlerine ve sürtünme kuvvetlerine maruz kaldıkları için min. 60 HRC sertlik değerine sahip olmalıdırlar. Bu nedenle ısıl işleme ihtiyaç duyarlar (Rastorguyev ve Sevastyanov, 2019).

2.4. Kontrol Fikstürlerinin İmalatı ve Montajı

Kontrol fikstürleri genellikle talaşlı imalat yöntemleri kullanılarak üretilir. Montaj aşamasında ise genellikle kaynak, yapıştırma ve cıvatalama gibi yöntemler tercih edilir. Süreci özetlemek gerekirse, fikstürde kullanılacak bileşenler (örneğin ölçüm blokları, tabla, pim, burç vb.) ayrı olarak imal edilir. Karkas profil yapısı kullanılacaksa, bu profiller kaynak yöntemiyle fikstür tablasına sabitlenir. Bu işlemlerden sonra gerilme giderme işlemi yapılması önemlidir; aksi takdirde imalat sırasında oluşan gerilmeler nedeniyle fikstür çarpılabilir ve doğru ölçümler yapılamaz hale gelebilir. Daha sonra, dışarıda kaba işlenmiş fikstür blokları monte edilerek hassas CNC (bilgisayarlı sayısal kontrol) işleme aşamasına geçilir. Son olarak, pim ve burç alıştırmaları yapılır ve çelik malzemeden yapılan bileşenler için paslanmaya karşı önlemler alınır. Örnek olarak, Şekil 2.12' de bir fikstürün imalat süreci gösterilmiştir.



Şekil 2.12 Başlıca imalat adımları

Kontrol fikstürleri üretiminde geleneksel yöntemlere ek olarak, 3D (3 boyutlu) baskı gibi yenilikçi teknolojilerin kullanımı da yaygınlaşmaktadır. FDM (eriyik yığma modellemesi), Polyjet, SLS (seçici lazer sinterleme), Voxeljet gibi çeşitli teknolojilerin gelişimiyle, son derece hassas kontrol fikstürleri üretmek mümkün hale gelmiştir (Şahin

ve Turan, 2018). Ayrıca, talaşlı imalat yöntemleriyle imalatı mümkün olmayan bileşenler için WEDM (tel erozyon), EDM (elektro erozyon) gibi imalat yöntemleri de kullanılmaktadır. Bu yöntemler sayesinde, malzemenin sertliği, aşınma direnci gibi mekanik özelliklerinden bağımsız olarak imalat yapılabilmektedir (Arat, 2019). Şekil 2.13' de en solda Catia programından tasarım görüntüsü verilen bir fikstürün talaşlı imalat ve polyjet 3D baskı teknolojileri kullanılarak üretilmiş örnekleri gösterilmektedir.



a-Tasarım b-Talaşlı imalat c-Polyjet 3D baskı

Şekil 2.13 Alternatif üretim teknikleriyle örnek bir uygulama

2.5. Kontrol Fikstürlerinin Doğrulanması

Fikstür üretimi sonrası kontrol fonksiyonunu istenen standartlar dahilinde yerine getirdiğinden emin olunması adına doğrulama işlemi gerçekleştirilir. Otomotiv üretim ekosisteminde son derece yaygın olarak kullanılan CMM (koordinat ölçme makinesi) cihazları fikstür doğrulama işleminde de ana ekipmandır (Teke ve ark., 2013). Şekil 2.14' te çeşitli CMM tipleri gösterilmiştir. 2 boyutlu düzlemde tasarlanmış basit fikstürler el ile doğrulanabilir, fakat genellikle 3 boyutlu metroloji tercih edilir.

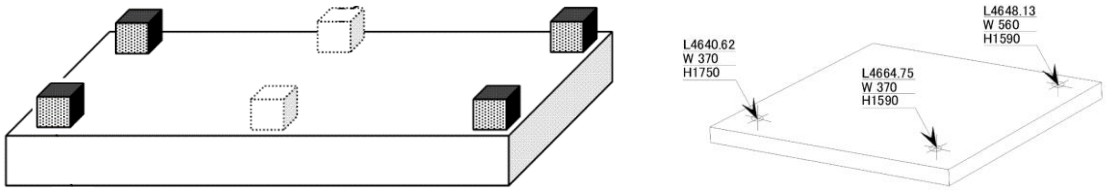


a-köprü tipi b-masa tipi c-kollu tip

Şekil 2.14 CMM tipleri

Doğrulama işlemini özetlemek gerekirse; ilk adımda, Şekil 2.15' te gösterilen fikstürdeki referans noktaları ve bunların koordinatları kullanılarak fikstür setleme işlemi gerçekleştirilir. Daha sonra, parça ölçümü için kullanılacak tüm bölgeler doğrulanır.

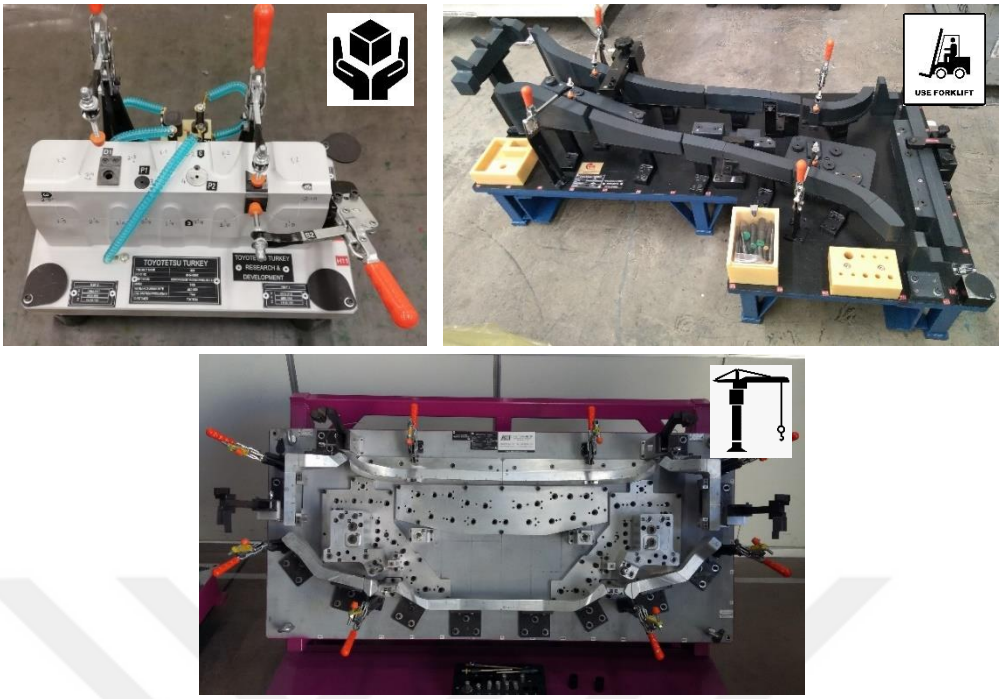
Genellikle, bu doğrulama işlemi imalat verileriyle fikstürün karşılaştırılması şeklinde gerçekleştirilir. Ancak, doğrulama sürecini uzatmasına rağmen fikstür tasarımının yerine parça verilerinin kullanılması daha doğru olabilir. Bu şekilde, imalat hatalarının yanı sıra olası tasarım hataları da doğrulama aşamasında tespit edilebilir.



Şekil 2.15 Fikstür setleme işleminde kullanılan referans noktaları

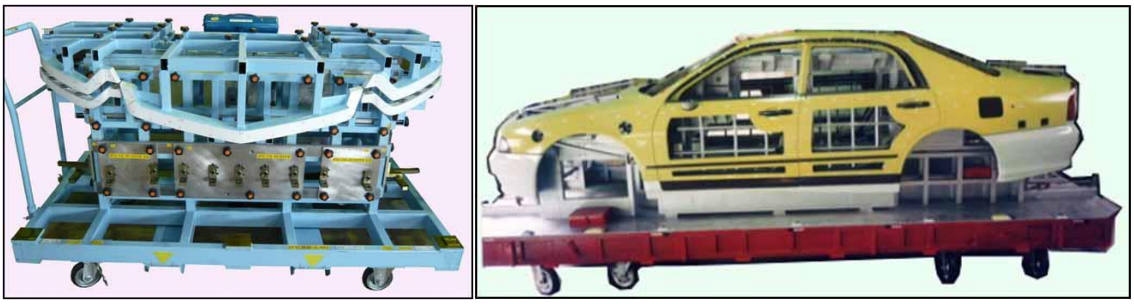
2.6. Kontrol Fikstürlerinin Taşınması ve Depolanması

Kontrol fikstürlerinin boyut ve ağırlıklarından bağımsız olarak, her zaman taşınabilirlik gereksinimi vardır. Genellikle üretim hattı ile ölçüm laboratuvarı arasında taşınma ihtiyacı ortaya çıkar. Taşıma metodu ağırlıklı olarak tasarım aşamasında belirlenir ve taşıma için gerekli yardımcı elemanlar fikstür tasarımına dahil edilir. Fikstürlerin taşınması, ağırlık ve boyutuna göre insan gücüyle veya kaldırma/taşıma ekipmanlarıyla gerçekleştirilir. Genel olarak 1 metre uzunluğu ve 30 kg ağırlığı geçmeyen fikstürler, bir veya iki kişi tarafından taşınabilir. Bu verilen değerler sektörde pratiğe dökülmüş ortalama değerlerdir. Firmadan firmaya ve hatta ülkeden ülkeye küçük değişiklikler gösterebilmektedir. Ancak, ağır ve büyük boyutlu fikstürlerin insan gücüyle taşınması riskli ve fiziksel açıdan zorlayıcı olduğu için tercih edilmez. Bu durumda alternatif taşıma yöntemlerine başvurulmalıdır. Örneğin, vinç ile taşınması planlanan bir fikstürün üzerinde taşıma halkaları yer alır. Benzer şekilde, forkliftle taşınması planlanan bir fikstürün karkas yapısında bu taşıma işlemi için yuvalar açılır. Çeşitli taşıma yöntemlerine göre tasarlanmış fikstür örnekleri Şekil 2.16’ da verilmiştir.



Şekil 2.16 Farklı taşıma tekniklerine adapte edilmiş fikstürler

Farklı taşıma seçeneklerinin yanı sıra, modüler bir çözüm de bulunmaktadır. Her fikstür için özel boyutlarda tasarlanan ve Şekil 2.17' de örnekleri verilen fikstür arabaları kullanılarak kolayca taşıma işlemi gerçekleştirilebilir. Fikstür arabaları, el ile taşınması zor olan bir fikstürü kolayca hareket ettirerek yardımcı endüstriyel araç ihtiyacını minimum seviyeye indirir.



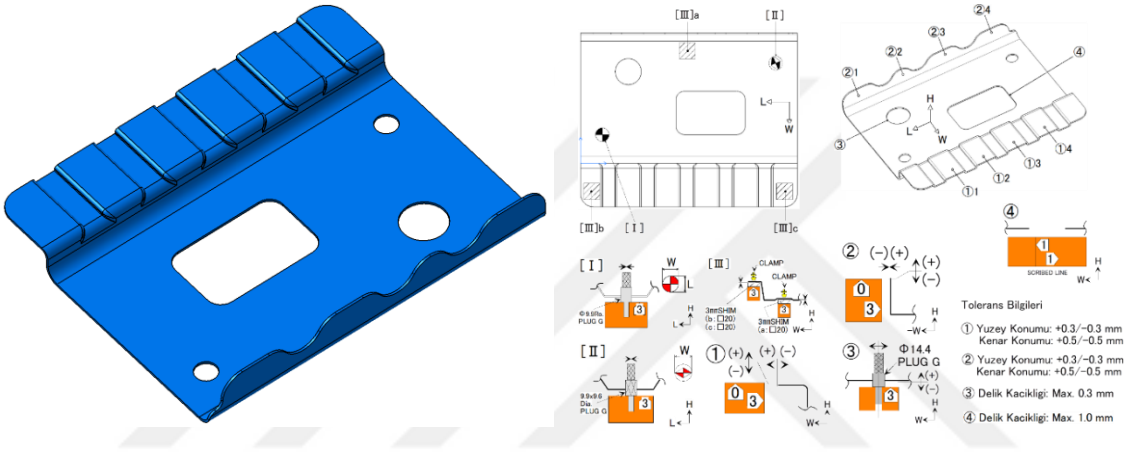
Şekil 2.17 Özel fikstür arabaları (Making Tanaka, 2020)

Son olarak, kontrol fikstürleri çalışma alanında aşırı toz ve kire karşı korunmalıdır. Bununla birlikte, aşırı mevsimsel veya günlük sıcaklık değişimlerinin olduğu yerlerde saklanmamalıdır. Bu tür sıcaklık dalgalanmaları, fikstürde ısıl genleşme ve deformasyonlara yol açarak ölçüsel doğruluğunu bozabilir. Fikstür uzun süre kullanılmayacaksa, koruyucu VCI (uçucu pas önleyici) gibi malzemelerle sarılmalıdır.

3. ANALİZ ÇALIŞMALARI

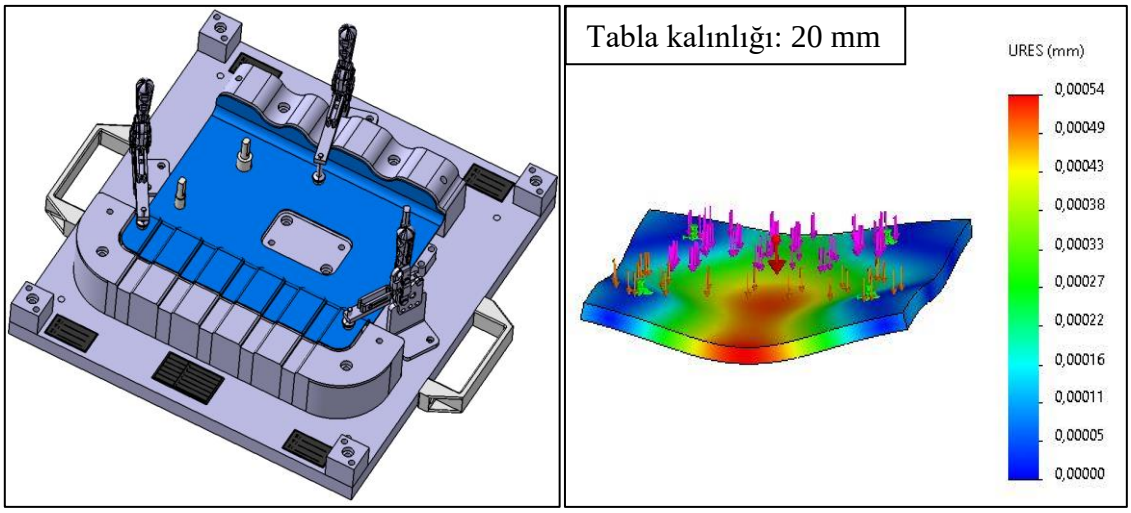
3.1. Örnek Bir Kontrol Fikstüründe Ağırlık Optimizasyonu

Kontrol fikstürü geliştirilmek istenen otomobil parçası; 1.6 mm kalınlığında, yaklaşık olarak 250 x 200 mm boyutlarında, 700 gr. ağırlığında ve sıcak haddelenmiş galvanizli sac malzemeden plastik şekillendirme yoluyla üretilmiştir. Malzeme 1440 MPa çekme dayanımına ve 450 HV sertlik değerine sahiptir. Şekil 3.1' de parça görseli ve kontrol standardı verilmiştir. Parçanın günlük 1000 adetlik üretim hacmiyle yaklaşık olarak 5 yıl boyunca üretimde kalması planlanmaktadır.



Şekil 3.1 Parça görseli ve kontrol standardı

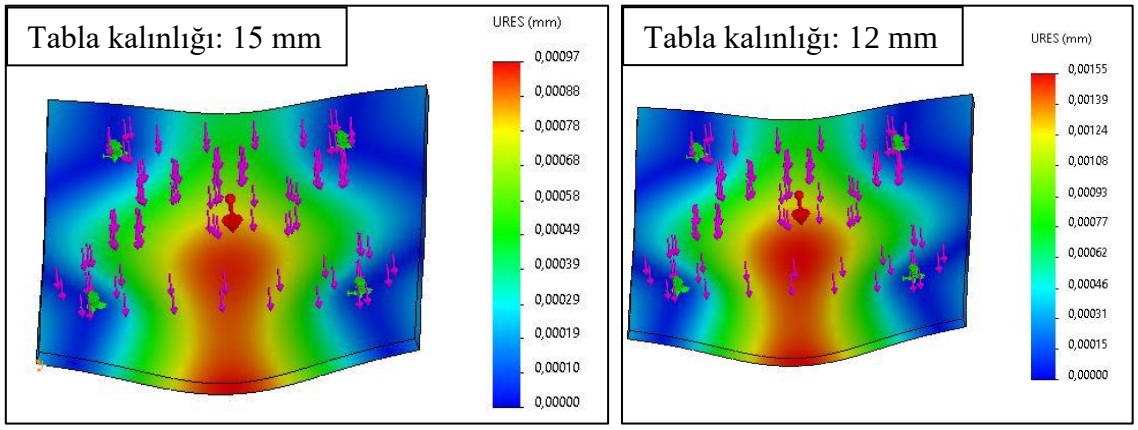
İlk olarak parça boyutları nispeten küçük olduğundan fikstürün elle taşınabilir olması ilk öncelik olacaktır. Bu yüzden bloklar için hafiflik avantajı sayesinde 7075 Al veya polimer kompozit malzemeler ilk aday malzemelerdir. Ancak parça oldukça sert ve yüksek mukavemetli, üretim adetleri yüksek bir parça olduğu için aşınma ve deformasyon risklerinden dolayı polimer kompozit malzeme tercih edilmemiştir. Yine elle taşıma planlandığı için karkas profil yapı kullanılmayacaktır. Buna bağlı olarak fikstür tablasında Ck45 yerine yine 7075 Al malzeme tercih edilmiştir. Tüm bu bilgiler ışığında tasarım gerçekleştirilmiş ve mevcut malzemelerle fikstürün ağırlığı 14,7 kg olarak hesaplanmıştır. Ergonomik çalışmanın tesis edilmesi adına bu fikstürün kullanılacağı fabrikada pratikte tek bir kişinin fikstürü taşıyabilmesi için ağırlığın azami 12 kg ile sınırlandırıldığını varsayalım. SolidWorks programına ait statik analiz modülü kullanılarak fikstürün azami sehim miktarı kontrol edilecek ve ağırlık azaltma çalışması yapılacaktır. Şekil 3.2' de mevcut fikstür tasarımı ve statik analiz sonuçları verilmiştir.



Şekil 3.2 Fikstür tasarımı ve tabla sehim analizi

Fikstür tablasında analiz sonuçlarına göre azami sehim miktarı 0,00054 mm olarak hesaplanmıştır. Bu değer sınır değerimiz olan 0,1 mm değerinin altındadır.

Fikstür tablasında sehim miktarının 0,1 mm limit değerinin çok altında gerçekleştiği görülmektedir. Bununla birlikte 8 kg ağırlığa sahip olan tabla, toplam fikstür ağırlığının %54'lük kısmını tek başına oluşturmaktadır. Dolayısıyla ağırlık azaltım çalışmasına tabladan başlamak en doğru seçenek olacaktır. Bu da tablanın genişliği ve kalınlığının azaltılması ile mümkündür. Tasarımdan görüleceği üzere tabla genişliğini düşürmek adına yeterli alan bulunmamaktadır. Ancak 20 mm kalınlık değeri sırasıyla 15 mm ve 12 mm değerine düşürülerek analizler yapılmıştır. Analiz görselleri Şekil 3.3' te verilmiştir.



Şekil 3.3 Kalınlığı 15 mm ve 12 mm olarak verilen tablalar için sehim analizi

İlk olarak kalınlığı 15 mm olarak verilen tabla için azami sehim miktarı 0,00097 mm olarak gerçekleşmiş ve ağırlık değeri 12,7 kg olarak hesaplanmıştır. Azami sehim miktarı

limit değerin çok altında gerçekleştiği ve hedeflenen ağırlık değerinin altına henüz inilemediği için tekrar tabla kalınlığı azaltılmıştır.

12 mm kalınlık değerine sahip tablada ise azami sehim miktarı 0,00155 mm olarak gerçekleşmiş ve ağırlık değeri 11,5 kg olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerle birlikte, 1 kişinin taşıyabileceği ağırlıkta ve mukavemet olarak gereksinimleri karşılayan bir fikstür çalışması gerçekleştirilmiştir. Azami sehim miktarı açısından tabla kalınlık azaltımı için hala bir kısıtlama oluşmasa da blok-tabla bağlantılarında kullanılan pim ve cıvatalar için gerekli diş mesafesi ve tutma yüzeyi kısalacağından 12 mm değerinin altına inilmemiştir.

3.2. Pil Taşıyıcı Parçası Fikstür Tasarımında İnovatif Çözümler

3.2.1. Piller, pil taşıyıcı parçası ve kontrol fikstürü

Elektrikli araçlar, rejeneratif sistemlerden ve harici enerji kaynaklarından alınan elektriğin depolanmasında kullanılmak üzere yüksek kapasiteli piller bulundururlar. Bu piller, Şekil 3.4' ten de görüleceği üzere araç gövdesinin alt kısmında pil taşıyıcı parçasının içerisinde konumlandırılır. Pil taşıyıcı parçasının ana görevi, pilleri dış atmosfer koşullarından ve darbelerden korumaktır. Oldukça fonksiyonel ve kritik bir parça olması nedeniyle pek çok farklı kalite gereksinimi bulunmaktadır.

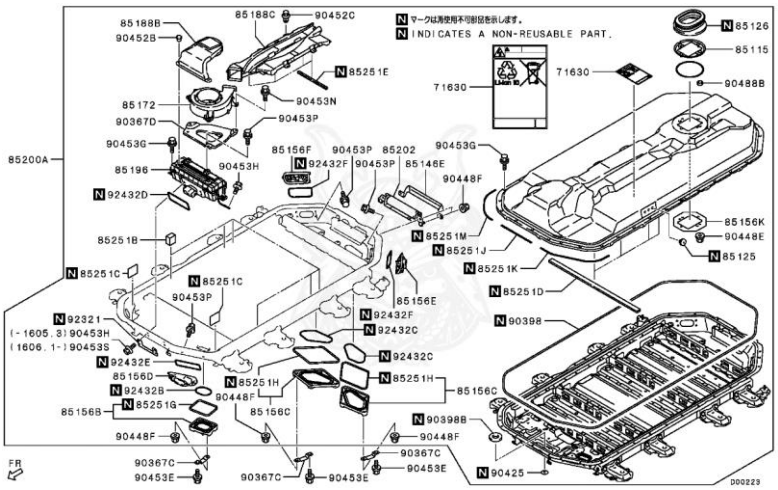
Ortalama bir otomobil gövde parçasına kıyasla oldukça büyük boyutlu ve ağır olan pil taşıyıcı parçaları için tasarlanacak olan kontrol fikstürü de farklı gereksinimlere sahip olacaktır. Bu gereksinimlerin eksiksiz olarak karşılandığından emin olunabilmesi adına, parça kontrolünde kullanılacak kontrol fikstürleri de oldukça kritik bir rol oynamaktadır. Bu nedenle tasarım, malzeme seçimi, imalat, montaj ve çalışabilirlik gibi pek çok başlıkta detaylı analizler yapılmıştır. Bu çalışmaların sonucunda pil taşıyıcı parçası için kontrol fikstürü tasarım sürecinde, fikstür özelinde karşılaşılan standart dışı zorluklara inovatif çözüm önerileri geliştirilmiş ve geleneksel kontrol fikstürü anlayışından farklı, başarılı bir prototip tasarım ortaya konulmuştur.



Şekil 3.4 Pil taşıyıcı parçası ve araçtaki konumu (BMW Group, 2022)

3.2.2. Pil taşıyıcı parçası kalite gereksinimleri

Otomobillerde kullanılan gövde parçaları, farklı birleştirme ve montaj yöntemleri kullanılarak bir araya getirilir ve araç gövdesini oluşturur. Çoğu gövde parçası genellikle boyu 1000 mm. ölçüsünü aşmayan ve 500 gr.~5 kg. aralığında ağırlığa sahip kompakt bileşenlerdir. Şekil 3.5' te bir örneği gösterilen pil taşıyıcı parçası yaklaşık 35 kg ağırlığında ve yaklaşık 1300 mm x 800 mm boyutlarındadır. Ayrıca 30' dan fazla alt parçanın; 300' den fazla spot kaynağı, 100' e yakın somun ve bolt kaynağı, ark kaynağı, sızdırmaz epoksi astar ve kataforez kaplama uygulamaları ile birleştirilmesiyle oluşturulur. Bu nedenle hem kendisini oluşturan alt parçaların hem de üretimi sırasında her prosesteki kalite seviyesinin tespiti oldukça önem arz etmektedir. Ayrıca parçanın tüm kontrol noktalarının kalitesel doğruluğunun tespit edilebilmesi adına, parçanın farklı noktalardan fikstüre tespit edilmesi ve ayrı ayrı kontroller yapılması gerekecektir. Tüm bu bilgiler ışığında konsept tasarım şekillendirilmektedir.



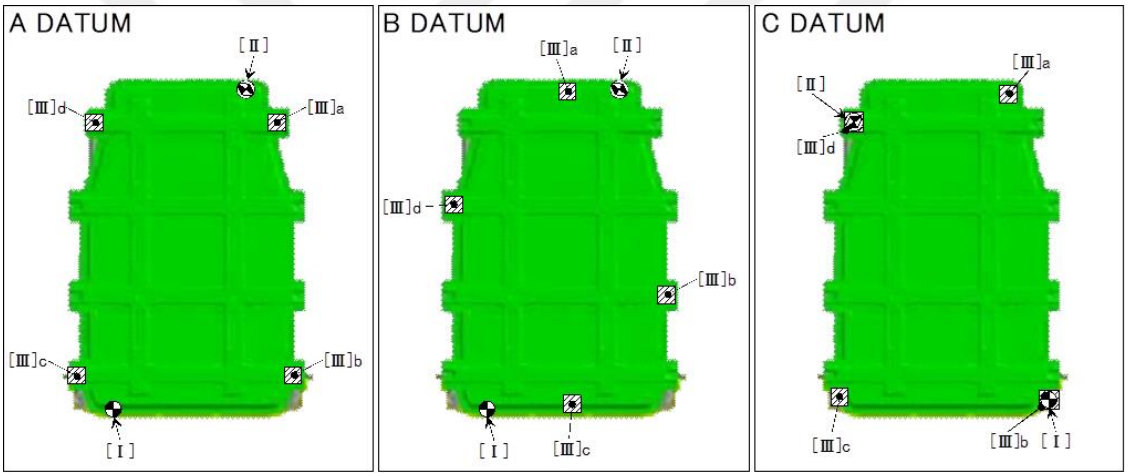
Şekil 3.5 Bir pil taşıyıcı parçasını oluşturan bileşenler (Nengun Co. Ltd, 2022)

Parça üzerinde bulunan bileşenlerin geometrik doğrulukları, somun ve cıvataların konumları, farklı bileşenlerin birbirlerine göre konumları, birleştirme metotlarının işlevselliği, epoksi astar ve kataforez kaplama kalitesi gibi pek çok kontrol noktası bulunmaktadır. Geometrik doğruluk ve konum kontrolleri için çoğunlukla kontrol fikstürüne ihtiyaç duyulacaktır.

İlk aşamada parçanın fikstüre set noktalarının ve kontrol detaylarının incelenmesiyle bir konsept tasarım oluşturulur. Bu esnada kaç adet fikstüre ihtiyaç duyulacağı da belirlenmektedir.

3.2.3. Karşılaşılan problemler ve geliştirilen inovatif çözümler

3.2.3.1. Parçanın farklı set pozisyonları

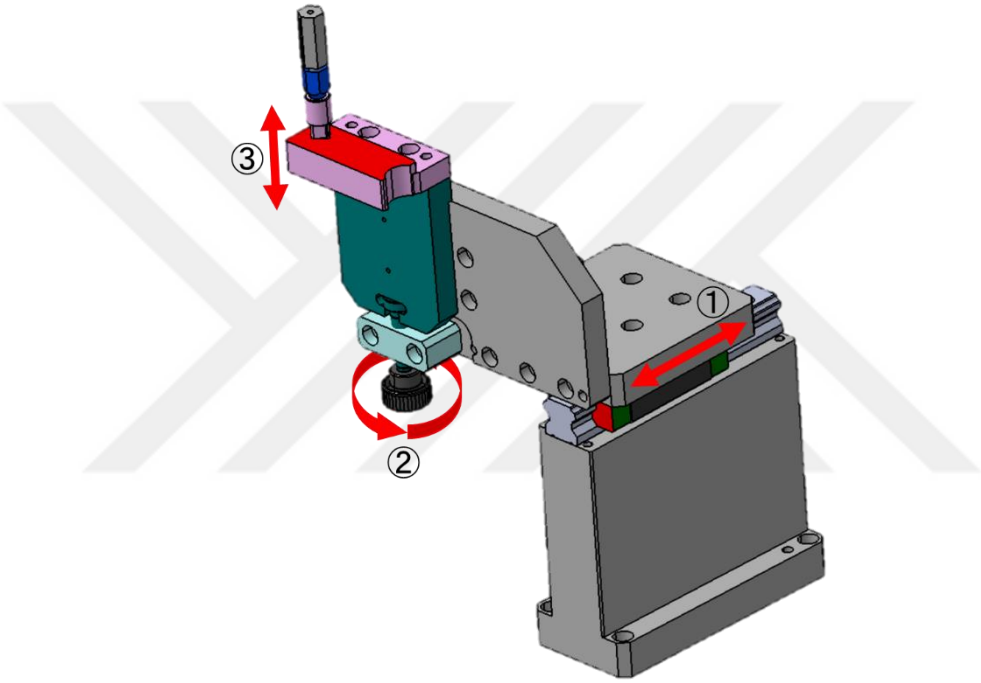


Şekil 3.6 Pil taşıyıcı parça kontrolü için farklı set pozisyonları (Li ve ark., 2017)

Şekil 3.6' dan görüleceği üzere, pil taşıyıcı parçası A, B ve C olmak üzere 3 farklı set metoduyla kontrol edilecektir. İlk bakışta düşünüldüğünde parça kontrolü için 3 farklı fikstüre ihtiyaç bulunuyor. Küçük boyutlu gövde parçalarında elzem durumlarda bu yol tercih edilebilir. Ancak bu denli büyük boyutlu ve ağır bir parçanın da oldukça büyük boyutlu, ağır ve hepsinden öte yüksek maliyetli bir fikstüre sahip olacağı göz önüne alınırsa, 3 farklı fikstür imal etmenin seçeneklerimizden biri olamayacağı açıktır. Bu durumda 3 farklı set pozisyonunu da tek bir fikstür üzerinde kullanabilmeliyiz. Set noktalarını incelediğimizde farklı deliklerden ve farklı oturma yüzeylerinden konumlama yapıldığı görülmektedir.

Çözüm: Farklı set pozisyonlarının tek fikstürde kullanımı

Tüm set pozisyonlarını tek bir fikstür üzerinde kullanabilmek için uyguladığımız çözüm Şekil 3.7' de görülmektedir. Çalışma prensibini özetlemek gerekirse, ① numaralı kayar yatak ile blok yapısı iş parçasının oturma yüzeyinin altına konumlandırılır. Sonrasında ② numaralı kol döndürülerek sonsuz dişli mekanizması bloğu yukarı doğru iterek, blok üzerindeki ③ numaralı shimi iş parçasının oturma yüzeyine sıfırlar. Blok üzerinde bulunan mekanik stoper sayesinde blok sıfır noktasının üzerine çıkamaz. Bu çözüm sayesinde birden fazla set pozisyonu için tek bir fikstür kullanılabilmektedir.



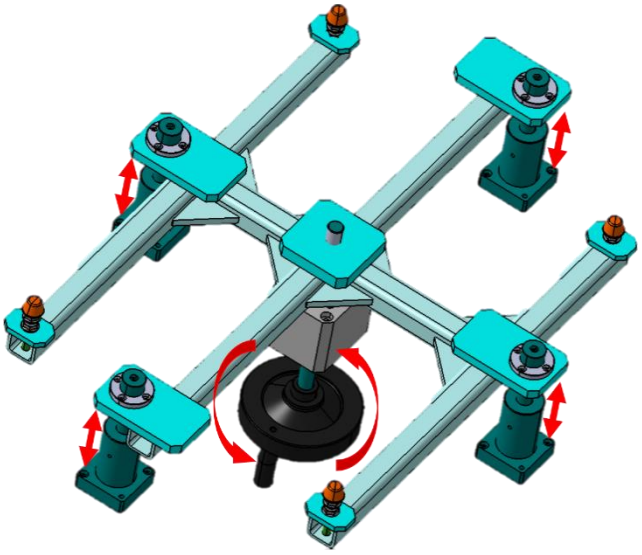
Şekil 3.7 Hareketli set blokları

3.2.3.2. Parça ağırlığından dolayı set bloklarının zarar görmesi

Bu denli ağır bir parçanın fikstüre seti sırasında tüm ağırlığın birden tüm blokların üzerine binmesi, bloklarda zamanla aşınmalara, çarpılmalara ve kırılmalara yol açabilir.

Çözüm: Ağırlığı set sırasında karşılayacak bir kaldıraç mekanizması

Parçanın fikstüre seti sırasında oluşabilecek olumsuz durumları önlemek amacıyla yine parçanın ilk olarak oturacağı bir kaldıraç mekanizması geliştirilmiştir. Mekanizma üst konumda iken parça ilk olarak bu mekanizma üzerine konulacaktır.



Şekil 3.8 Hareketli kaldıraç mekanizması

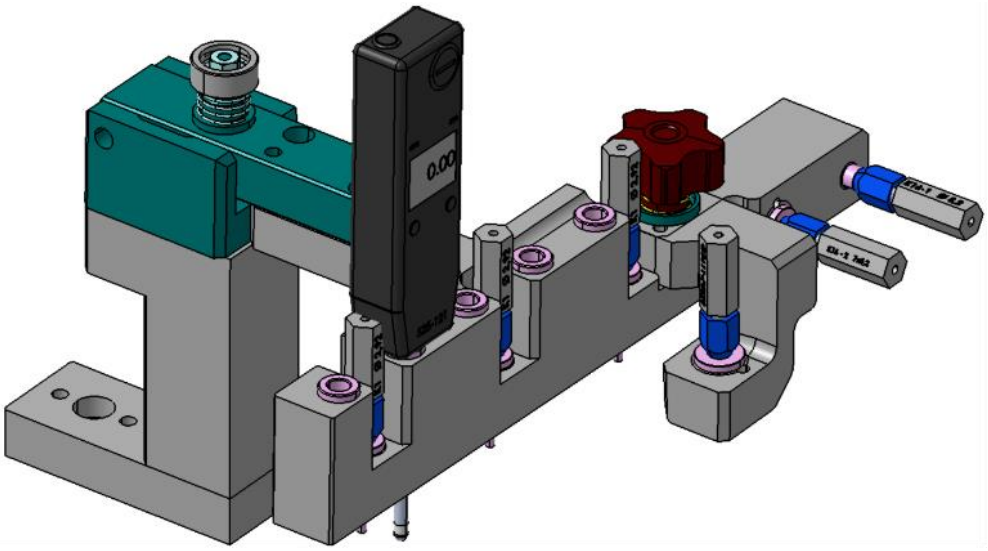
Şekil 3.8’ de gösterilen ve fikstür tablasına sabitlenecek olan mekanizmanın en altında yivli bir mile bağlı bir kol bulunmaktadır. Bu kolun döndürülmesiyle 4 adet lineer yatağa bağlı mekanizma aşağı yönlü hareket etmektedir. Yine mekanizmaya bağlı 4 adet kauçuk pabuç üzerine konumlandırılan parça da bu mekanizmanın hareketiyle aşağı yönlü hareket edecektir. Bu sayede parçanın set bloklarının üzerine konumlandırılma işlemi daha sağlıklı bir şekilde tamamlanmaktadır.

3.2.3.3. Uzun ölçüm süreleri

Parçada bulunan 100’ e yakın somun ve cıvatanın konumlarının, panellerin üzerindeki yüzey ve kenar konumlarının ve son olarak belirli bileşenlerin birbirlerine göre konumlarının kontrolünün mekanik bloklarla yapılması gerekmektedir. Parça ağırlığı yüksek olduğundan sabit bloklarda çoğunlukla 7075 serisi Al malzeme tercih edilmiş ve hareketli veya parça ile doğrudan temas eden bloklarda ise 105WCr6 takım çelikleri tercih edilmiştir (Tsang ve ark., 2018). Bu tasarım yapısında ölçüm operatörünün tüm bu işlemleri mekanik ölçüm aletleriyle gerçekleştirmesi ölçüm sürelerinin de uzamasına neden olacaktır.

Çözüm: Dijital komparatör kullanımına uygun bloklar

Ölçüm nokta sayısı oldukça yüksek olduğundan dolayı, ölçüm süresini kısaltmak adına Şekil 3.9’ da tüm yüzey konumları dijital komparatör ile ölçülebilecek şekilde tasarlanmıştır. Böylelikle operatör çok hızlı bir şekilde ölçümü gerçekleştirebilecektir.



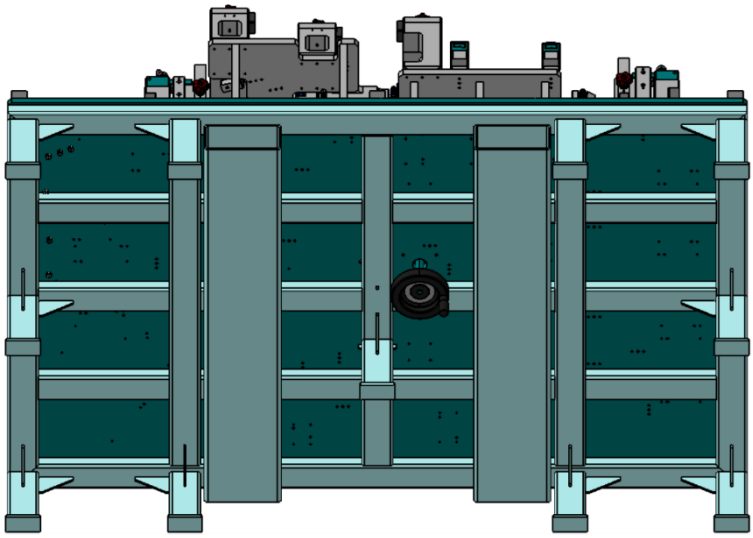
Şekil 3.9 Komparatörlü ölçüm bloğu

3.2.3.4. Çarpılma riski

1200 x 1900 mm boyutuyla birlikte yaklaşık 600 kg ağırlığa sahip olan fikstür yapısının rijitliği de oldukça önemli bir faktördür. Boyut ve ağırlık parametreleri göz önüne alındığında oldukça yüksek olan sehim ve çarpılma riski bulunmaktadır.

Çözüm: Güçlendirilmiş karkas profil yapı

Mevcut fikstür yapısında bulunan çarpılma riskinin bertaraf edilmesi amacıyla, fikstür altına Şekil 3.10' da gösterilen güçlendirilmiş karkas profil yapı tasarlanmıştır. Bu yapıda profil destekleri sıklaştırılmış ve 2 mm et kalınlığına sahip 80 x 40 mm boyutlarındaki profiller kullanılmıştır. Bu profillerin birbirine kaynatılarak birleştirilmesiyle oluşturulan profil yapıya, kaynak işlemi sonrası mutlaka gerilim giderme işlemi uygulanmalıdır. Profil malzemeler kolay işlenebilen, kaynak kabiliyeti yüksek ve kesimi kolay St37 malzemeden imal edilmelidir (Baeslack, 1993).



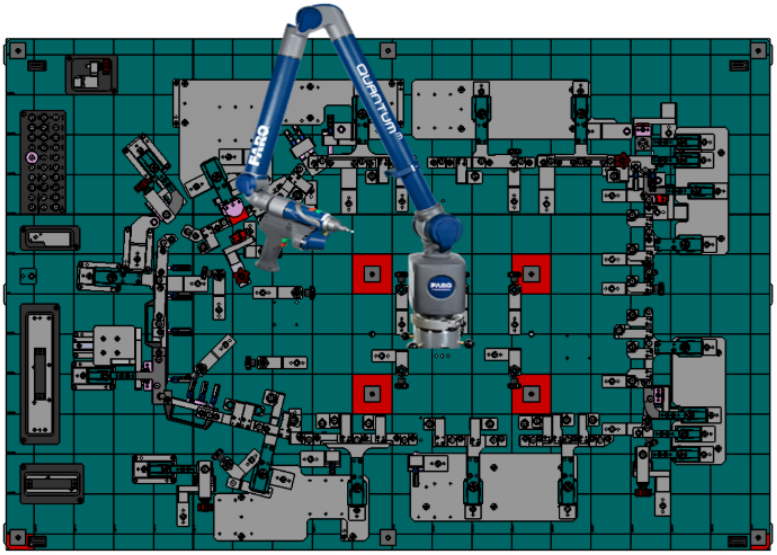
Şekil 3.10 Karkas profil yapı

3.2.3.5. Doğrulama işleminin zorluğu

Kontrol fikstürlerinin üretim sonrası doğrulanması ve ölçüm fonksiyonlarının istenen tolerans aralıklarında gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu fikstürümüzde doğrulama işlemi için kollu tip Faro Quantum M marka CMM cihazının kullanılması planlanmaktadır. Doğrulama cihazının 2.5 m olan azami erişim çapı nedeniyle fikstürün tüm noktaları doğrulanamayacaktır (Faro, 2018).

Çözüm: Doğrulama cihazının fikstür üzerine sabitlenmesi

Doğrulama cihazının fikstür üzerine sabitlenerek ölçümün gerçekleştirilebilmesi için fikstür tablasının merkezine fazladan referans blokları eklenmiştir. Cihaz da tripod ayak yerine fikstürün tabla merkezine konumlandırılarak ölçüm ve doğrulama işlemi gerçekleştirilebilecektir. Bu sayede CMM cihazıyla doğrulanacak bileşenlerin aynı sabit düzlemde konumlandırılması sağlanacaktır. Bu durumun en büyük artısı ise daha stabil bir doğrulama prosesine olanak tanımasıdır. Şekil 3.11 üzerinde bu yapı gösterilmiştir.



Şekil 3.11 Fikstür tablası ve ölçüm cihazının konumlandırılması

4. SONUÇLAR

4.1. Analiz Sonuçları ve Değerlendirmeler

Yapılan ağırlık optimizasyonu ve inovatif çözüm analizlerinden de görüleceği üzere her bir fikstür projesi pek çok farklı etmenin dikkate alınmasını gerektirmektedir. Bu etmenleri temel olarak parçanın mekanik özellikleri ve kalite gereksinimlerinin şekillendirdiği anlaşılmaktadır. Dolayısıyla bir fikstür projesi için genel geçer bir kural seti oluşturmak olanaksızdır. Daha çok fikstür bileşenleri ve proje adımları için genel kural setleri tanımlanabilmekte ve bu sayede sektörde pek çok uygulama pratiğe dökülmüş durumdadır. Bu çalışmamızın sonucunda bu pratik uygulamalar bilimsel gerçeklere ve nedenlere dayandırılarak açıklanmıştır.

Ağırlık optimizasyonu çalışması özelinde, optimize edilecek bileşenin seçiminde daima ağırlıkça en büyük paya sahip bileşen incelenmelidir. Gerçekleştirdiğimiz çalışmada 12 mm kalınlık değerine sahip fikstür tablası ile hedeflenen ağırlığa ulaşılabilmiştir. Ancak bu kalınlık değeri istenilen ağırlık hedefine ulaşmamıza olanak sağlamasaydı, tabla üzerinde bulunan merkezleme pimi ve bağlantı cıvataları için yeterli tutunma yüzeyi kalmayacağından kalınlık azaltma işlemine devam edilemeyecekti. Bu tip durumlarda diğer fikstür bileşenleri için de benzer analizlere devam edilmesi gerekmektedir. Tüm optimizasyon çalışmalarına rağmen belirli bir ağırlık sınırının altına inilememesi durumunda, fikstürün taşıma ve depolama koşullarının tekrar gözden geçirilmesi gerektiği anlaşılmıştır.

Pil parçası kontrol fikstürü özelinde geliştirilen inovatif çözümler her bir fikstür projesinin kendine özgü problemler doğurabildiğinin en somut göstergesidir. Bu anlamda en başta planlama ve konsept çalışmalarının titizlikle yürütülmesi gerekmektedir. Projede ilerleme kaydedildikçe geriye dönük hata düzeltmeleri gereksiz zaman ve maliyet kayıplarını da beraberinde getirmektedir. Ölçüm ve doğrulama çalışmalarına yönelik yapılan başarılı analizler sayesinde, geleneksel kontrol fikstürü tasarımlarından farklı pek çok yenilikçi çözüm, ortaya konan ürünün rekabetçiliğini de artırmaktadır.

Son olarak; pek çoğu sektörel tecrübeyle edinilen ve bilimsel temelleriyle sunulan bilgilere ek olarak analizlerle ortaya konulan uygulama örnekleri ile hem sektörel hem de akademik literatüre değerli bir kaynak kazandırılmıştır.

4.2. Geleceğe Dair Öngörüler

Teknolojinin hızlı bir şekilde gelişmesi ve sanayi devrimlerinin sürekli bir şekilde hızlanması, kontrol fikstürlerinin önemini ve gerekliliğini artırmıştır. Bu değişen ortama rağmen, kontrol fikstürleri seri üretimde hızlı kontrol imkanları sunarak pratik uygulamalardaki rolünü sürdürmüşlerdir. Bununla birlikte, dijitalleşmenin artmasına rağmen kontrol fikstürleri hala basit, güvenilir ve düşük maliyetli mekanik çözümler sunmaktadır. Mekanik fikstürleme, kalite kontrol sürecini tamamen insan etkileşiminden soyutlasak bile bir parçanın kontrolünde hala gereklidir. Gelecekte, kontrol fikstürlerinin de otonom ve öğrenen sistemlere dönüşerek dijitalleşme sürecine uyum sağlayacağını öngörebiliriz. Otomotiv üretim ekosistemi var oldukça, kontrol fikstürlerinin kalite kontrol süreçlerinde önemli bir rol oynamaya devam edeceği açıktır.

KAYNAKLAR

2Mi Group (2015), Automotive, Erişim adresi ve tarihi: http://www.2migroup.eu/en/automotive/, (20 Şubat 2024)

Anhui Shangzhan Mold Industry Co., Ltd. (2018), Panel Body Side Outer Lh Checking Fixture, Erişim adresi ve tarihi: https://anhuishangzhan.en.made-in-china.com/product/vypniZYJbRhS/China-Panel-Body-Side-Outer-Lh-Checking-Fixture.html, (19 Şubat 2024)

Arat O. (2019), Paslanmaz Çeliğinin Elektro Erozyon ile İşlenmesinde İşlem Parametrelerinin Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, Türkiye

Aydoğdu F. (2006), Otomotiv Sanayiinde Konumlama Kavramı ve Araca Olan Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, 8

Baeslack, B. (1993), Welding brazing and soldering, ASM Metals Handbook, Vol.6, Materials Park, OH

BMW Group (2022), Erişim adresi ve tarihi: https://www.press.bmwgroup.com/united-kingdom/photo/detail/P90392466/BMW-Gen5-High-Voltage-Battery-for-BMW-iX3 (2 Mart 2024)

Erdinç, O., Uzunoğlu, M. ve Vural, B. (2011). Hibrit Alternatif Enerji Sistemlerinde Kullanılan Enerji Depolama Üniteleri, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, 5-7 Ekim 2011, Elazığ, Türkiye.

Erol R. (2017), Gaz Altı Ark Kaynağı Yönteminde Proses Parametrelerinin Yapıdaki Çarpılmaya Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik, Türkiye

FARO Europe GmbH & Co. (2018), Faro Quantum M Technical Specification Sheet, MA-RF-4082, Münchingen, Germany

Ford Motor Company (2020), The Model T, Erişim adresi ve tarihi: https://corporate.ford.com/articles/history/the-model-t.html, (21 Şubat 2024)

Guo L. (2018), Dongguan Longxiong Precision Machinery Co. Ltd., Erişim adresi ve tarihi: https://www.linkedin.com/pulse/car-checking-fixture-series-lina-guo-/, (13.03.2024)

Hadjipaschalis, I., Poullikkas, A. and Efthimiou, V. (2009), Overview of current and future energy storage technologies for electric power applications, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(6-7):1513–1522.

Koca M. (2006), Bilgisayar Destekli Fikstür Tasarımı ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye

Li G., Fu X., Yang Y. (2017), Anti-vibration safety performance research of battery pack based on finite element method in electric vehicle, 36th Chinese Control Conference, 26-28 July 2017, Dalian, China

Making Tanaka Co., Ltd. (2020), 総合検具, Erişim adresi ve tarihi: http://www.making-t.co.jp/resultsgraphic.html, (21 Şubat 2024)

Necumer GmbH (2019), Necuron® 1300 Board Material – Technical Data Sheet, Version 19.10.18, Bohmte, Germany

Nengun Co. Ltd (2002), Erişim adresi ve tarihi: https://www.nengun.com/oem/mitsubishi/9499f260 (2 Mart 2024)

RAMPF Tooling Solutions GmbH (2021), Raku®Tool WB-1700 Board Material Data Sheet,, Version 01-2021/07/01, Grafenberg, Germany

Rastorguev D.A., Sevastyanov A.A. (2019), Neural network classification of surface quality after hard turning of 105WCr6 steel, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 4-6 April 2019, Krasnoyarsk, Russian Federation

Sekmen M., Günay M., Şeker U. (2015), Alüminyum Alaşımlarının İşlenmesinde Kesme Hızı ve Talaş Açısının Yüzey Pürüzlülüğü, Yığıntı Talaş ve Yığıntı Katmanı Oluşumu Üzerine Etkisi, Politeknik Dergisi, 18 (3), s. 141-148

Shipler H. (2002), Shipler Commercial Photographers Collection #10540, University of Utah

Şahin K., Turan O. (2018), Üç Boyutlu Yazıcı Teknolojilerinin Karşılaştırmalı Analizi, Startejik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi (SSAD), Volume 2 Issue 2

Teke İ., Yandayan T., Karadayı R. (2013), Koordinat Ölçüm Metrolojisi, Üç Boyutlu Ölçüm Cihazı (CMM) Modernizasyonu, Kalibrasyonu, Verifikasyonu, Dünyada ve Ülkemizdeki Durum, 8. Ulusal Ölçümbilim Kongresi, 26-28 Eylül 2013, Kocaeli, Türkiye

Toyoda Iron Works Co., Ltd. (2020), Center Body Pillar , Erişim adresi ve tarihi: https://www.tiw.co.jp/en/production/product/center_body_pillar_rf, (21 Şubat 2024)

Tsang K.S., Ion W., Blackwell P., English M. (2018), Industrial Validation of Strain In Cold Rolled Forming of UHSS, 17th International Conference on Metal Forming, 16-17 September 2018, Toyohashi, Japan

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı **:** Rıdvan Tuğberk ÖZSÜRÜCÜ

Uyruğu **:** T.C.

Eğitim Durumu

Yüksek Lisans **:** Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı (2020-2024)

Lisans **:** Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü (2008-2013)

Lise **:**Demirci Anadolu Öğretmen Lisesi (2004-2008)

İş Deneyimi

Ford Otomotiv San. A.Ş.
LCV Forward Model Quality Engineer (2023-)

Toyotetsu Otomotiv Parçaları San. Ve Tic. A.Ş.
Project Quality Senior Engineer (2016-2023)

Toyotetsu Otomotiv Parçaları San. Ve Tic. A.Ş.
Project Quality Engineer (2014-2016)

Toyoda Iron Works Co. Ltd. Japan
Project Quality Engineer (2017)

Yabancı Diller

İngilizce, Japonca