

AlSi7Mg DÖKÜM ALAŞIMINDA T6 ISIL İŞLEM PARAMETRELERİNİN MEKANİK DEĞERLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Onur GÜVEN, Doğan ALPDORUK, Şükrü IRMAK

CMS Jant ve Mak. San. A. Ş., İzmir, Türkiye

ÖZET

Çalışmada döküm sektöründe yaygın bir kullanım alanına sahip olan AlSi7Mg alaşımının T6 ısıtım işlem uygulamasına ait parametrelerinin, Deney Tasarımı (DoE) tekniği kullanılarak optimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç çerçevesinde nihai ürün üzerinde mekanik değerleri sağlayan temel sıcaklık ve süre parametreleri üzerinde durulmuştur.

Numune dökümleri ve testler sonrası elde edilen veriler istatistiksel analiz yöntemi ile değerlendirilerek öncelikle metalurjik dayanımlar üzerine etken işlem parametreleri ile bu parametrelere karşılık değişen metalurjik dayanım haritaları çıkarılmıştır. Çalışma sonucunda döküm parçasının mekanik dayanımının esas anlamı ile T6 ısıtım işlemindeki yaşlandırma adımı ile belirlendiği ve alaşım kimyasal kompozisyonundaki Mg seviyesinin önemli bir rol oynadığı tespit edilmiştir. Bu çalışma ile toplanan veriler ışığında ısıtım işlem proses optimizasyonu yapılmış ve ürün kalitesinin yükseltilmesi sağlanmıştır.

ABSTRACT

The effects and optimization of T6 heat treatment parameters on widely known automotive components casting - AlSi7Mg - alloy, in assistance with the Design of Experiments (DoE) method have been investigated and results are presented in this paper. The temperature and time parameters – the essentials of heat treatment – have been investigated to reach the desired metallurgical requirements on the finished product.

Statistical analysis method was used to evaluate the collected data from the test pieces after the sample production and to understand which parameters are affecting the metallurgical properties. Heat treatment maps were constituted as a result of influence of the treatment parameters on the metallurgical properties of the cast piece. Evaluation of experimental results showed that aging parameters and the Mg % in the alloy composition are the key issues which affecting the mechanical properties of a cast part. The data which obtained from the experimental results was used to optimize the serial production conditions thus improving the product quality.

1. GİRİŞ

Döküm parçasının mekanik ve fiziksel özelliklerinin değiştirilmesi ve iyileştirilmesi için uygulanan ısı işlem prosesi temel olarak bu malzemelere uygulanan ısıtma ve soğutma işlemlerini içermektedir. Bu ısıtma ve soğutma işlemleri temel olarak tavlama, çözeltiye alma, yaşlandırma ve soğuk işlem gibi kademeleri içermekte olup, alaşımların kimyasal yapılarına ve kazandırılmak istenilen nihai özelliklere göre çeşitlilik göstermektedir.

Alüminyum alaşımlarında uygulanan işlemler genellikle yaşlandırma işlemine göre değerlendirilmekte ve sadece mekanik özellikler için değil elektriksel iletkenlik ve korozyon özelliklerini de belirleyici rol oynamaktadır. Yaşlandırma işlemi ise sadece denge diyagramında solvüs eğrisi bulunan alaşımlarda ve solvüs eğrisinin sınırladığı katı eriyik bileşimlerinde meydana gelebilir [1]. Fakat bir çok alüminyum alaşımında solvüs eğrisi bulunmasına rağmen bazı alaşımlarda kimyasal bileşimleri sebebi ile ısı işlem sonucunda mekanik değerlerinde belirgin bir iyileşme görülemeyebilmektedir. Buna göre alüminyum alaşımlarının yaşlandırma işlemi uygulanabilirliği Tablo 1.1’de verilmiştir [2].

Tablo1.1 : Alüminyum Alaşımlarının Yaşlandırma Uygunluğu [2]

Sınıflandırma	Temel Alaşım Elementi	Yaşlandırma İşlemi
1xx.x	Alaşımlanmamış Alüminyum (% 99,0 veya daha yüksek safiyet)	Yaşlanmaz
2xx.x	Bakır	Yaşlanabilir
3xx.x	Silis ile Magnezyum ve/veya Bakır	Bazıları Yaşlanabilir
4xx.x	Silisyum	Yaşlandırılmaz
5xx.x	Magnezyum	Yaşlandırılmaz
6 xx.x	Kullanılmıyor	-
7 xx.x	Çinko	Yaşlanabilir
8 xx.x	Kalay (Tin)	Yaşlanabilir
9 xx.x	Kullanılmıyor	-

Döküm parçasının mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için temel kural; aşırı doymuş katı fazdan yaşlanma işlemi sonucunda yapıda çok ince çökelti fazının dağılımıdır. Bu çökelti fazının oluşumu doğal olarak gerçekleşebileceği gibi yapay olarak da yapılabilmektedir. Ancak, genellikle alüminyum alaşımlarında doğal yaşlanma ile mekanik özelliklerde çok etkili bir değişim elde edilemez. Yaşlanmanın meydana gelebilmesi için temel olarak üç kademe mevcuttur, bunlar sırasıyla; çözeltiye alma, su verme ve çökeltme (yaşlandırma) işlemidir.

Alüminyum döküm alaşımlarına uygulanan ısı işlem proselerinde etken olan parametreler; çözeltiye alma sıcaklığı ve süresi, su verme hızı, yaşlandırma sıcaklığı ve süresidir. Alüminyum alaşımlarına uygulanan ısı işlem proselerinin kodlaması ve açıklamaları Tablo 1.2’de verilmiştir [1].

Tablo 1.2 : Alüminyum Alaşımlarında Temper Kodlaması [1]

Temper	Temper Kodu	Açıklama
	F	Mekanik veya ısısal işlem görmemiş (döküm, dövülmüş vb.) halde
	O	Tavlanmış ve yeniden kristalleşmiş
H		Soğuk işlem uygulanmış
	H1x	Sadece soğuk işlem uygulanmış (x, deformasyon sertleşmesini göstermektedir.)
	H2x	Soğuk işlenmiş ve kısmen tavlanmış (x, farklı sertlikleri ifade etmektedir.)
	H3x	Soğuk işlem uygulanmış ve malzeme yaşlanmaması için düşük sıcaklıkta ısısal işlemle stabilize edilmiş (x, stabilizasyon sonrası sertleşme işlemini ifade eder.)
	W	Çözeltiye alınmış
T		Yaşlandırma işlemini göstermektedir
	T1	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş ve doğal olarak yaşlanmış
	T2	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş, soğuk deformasyon uygulanmış, doğal olarak yaşlanmış
	T3	Çözeltiye alınmış, soğuk işlenmiş ve doğal yaşlandırma uygulanmış
	T4	Çözeltiye alınmış ve doğal yaşlanmış
	T5	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş ve yapay yaşlandırılmış
	T6	Çözeltiye alınmış ve yapay yaşlanmış
	T7	Çözeltiye alınmış ve stabilize edilmiş (aşırı yaşlanmış)
	T8	Çözeltiye alınmış, soğuk işlenmiş, yapay yaşlandırılmış
	T9	Çözeltiye alınmış, yapay yaşlandırılmış ve soğuk işlem uygulanmış
	T10	Sıcak şekillendirme sonrası soğumuş, soğuk işlem uygulanmış yapay yaşlanmış

Ticari Al – Si – Mg alaşımları (3xx.x grubu); döküm parçasında arzu edilen mukavemet değerlerine ulaşmak için genellikle T6 ısısal işleme tabii tutulurlar. Döküm parçaları temel olarak T6 işleminde sırasıyla katı çözelti içerisinde çökelti fazının oluşturulması için uzun müddet ötektik altı sıcaklık olan 530 - 540 °C’de çözeltiye alma, ardından yüksek sıcaklıkta su verme ve sonrasında da 150 – 200 °C civarlarında yapay yaşlandırmaya alınırlar. Çözeltiye alma sırasında magnezyum ve bir miktar silisyum çözünerek homojen bir katı çözelti oluşturur. Yaşlandırma ise magnezyum ve silisyumun alüminyum dendritleri içerisinde Mg₂Si olarak çökmesine sebep olur.

Isıl işlemin temelini teşkil eden metal kalitesi konusunda, sıvı metal tretmanında gaz giderme (degassing) tekniklerindeki iyileştirmeler, sıvı metalin filtrasyonu, tane inceltme ve ötektik silisyumun modifikasyonu, ısısal işlem sırasında meydana gelen mikroyapı değişiklikleri üzerinde önemli etkilere sahiptirler [3]. Örneğin sıvı metalin sodyum veya stronsiyumla modifikasyonu tanelerin küreselleşmesini ve büyüme kinetiklerini değiştirmekte olduğu bilinmektedir. Bu sayede çözeltiye alma sürelerinde ciddi bir şekilde düşüş sağlanması mümkün olabilmektedir. Bununla birlikte sıvı metal içerisinde tane inceltici olarak eklenen TiAl₃ partikülleri Mg₂Si fazının yaşlandırma sırasında çökme kinetiğini geciktirebilmektedir [4]. Araştırmalar sonucunda ortaya çıkan ve bahsi geçen bu gözlemlerin, yıllar önceden standartları belirlenmiş olan ısısal işlem uygulamaları üzerine etkileri gözden geçirilmeli ve mevcut dökümhane pratikleri ile entegre edilerek

uygulanmalıdır. Bu çalışmada daha önce yapılan çalışmalar ışığında deney tasarım teknikleri kullanılarak söz edilen ısıtım işlem pratiklerinin (ve kademelerinin) birbirleri ile etkileşimleri, nihai ürün üzerindeki çekme dayanımını belirleyen kritik parametrelerin belirlenmesi araştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde Al – Si – Mg döküm alaşım sisteminin nihai mekanik özelliklerini belirleyen önemli parametreler olan ısıtım işlem kademeleri üzerinde yapılan çalışmalar anlatılmaktadır. Söz konusu çalışmalar çeşitli dökümhane pratikleri ve istatistiksel yöntemler kullanılarak yürütülmüş olup, deneysel tasarımlar, parametreler, sayısal değerler ve miktarlar profesyonel deneyimler ışığında belirlenerek incelenmiştir. Proje için yürütülen deneysel çalışmalarda ısıtım işleminin malzemenin mekanik değerlere etkisi bireysel olarak incelenmeye çalışılmıştır.

2.1. Deney Tasarımı

Çalışma için yapılacak deneylerin belirlenmesinde öncelikle ortaya T6 tretmanında bulunan adımlar ve mevcut parametreler belirlenmiş olup, buna göre;

- Çözeltiye alma sıcaklığı,
- Çözeltiye alma süresi,
- Çözeltiye alma sonrası su vermeye kadar geçen en fazla süre,
- Su verme ortamı sıcaklığı,
- Su verme süresi,
- Su verme sonrası, yaşlandırma öncesi bekleme süresi
- Yaşlandırma sıcaklığı,
- Yaşlandırma süresi

parametreleri deney tasarımında göz önüne alınmış olup, literatür verileri ve dökümhane pratiğinden gelen tecrübelerle istinaden alaşım içerisindeki magnezyum seviyesi de mekanik dayanıma etkinin görülebilmesi için göz önünde bulundurulmuştur.

Deneyler için etkisi incelenilmek istenen parametrelerin çokluğundan dolayı aynı oranda (faktöriyel olarak) artan deney sayısının fazlalığından dolayı endüstride oldukça yaygın kullanım alanı bulan “Taguchi Deney Tasarımı” (Taguchi DOE) tekniği kullanılmış olup, deney tablosunun detaylandırılmasında Minitab yazılımı tercih edilmiş ve deney tablosu oluşturulmuştur. Buna göre, yukarıda belirtilen toplam 9 parametre için üç farklı seviye belirlenmiş olup Tablo 2.1’deki dizilim hazırlanmıştır;

Tablo 2.1 : Deneysel Tasarım Parametreleri Ve İlgili Parametrelerin Seviyeleri

Parametre		Seviye		
		1	2	3
1	Magnezyum Yüzdesi (% Mg)	0,20	0,30	0,40
2	Solüsyona Alma Sıcaklığı (T_{sol}), °C	525	535	545
3	Solüsyona Alma Süresi (t_{sol}), saat	4	6	8
4	Su Verme Öncesi Bekleme Süresi (t_{wait}), sn	20	30	40
5	Su Verme Suyu Sıcaklığı (T_{water}), °C	40	60	80
6	Su Verme Süresi (t_{quench}), dakika	5	10	15
7	Yaşlandırma Öncesi Bekleme Süresi (t_{wait2}), saat	0,5	12	24
8	Yaşlandırma Sıcaklığı (T_{ageing}), °C	160	180	200
9	Yaşlandırma Süresi (t_{ageing}), saat	2	4	6

Tablo 2.1'deki parametre ve seviyelere bakılarak mühendislik anlayışta klasik bir yöntem olan her seferinde bir faktörün değiştirilip diğerlerinin sabit tutulması mantığına dayanan deneme yanılma metodu parametre çokluğundan dolayı bir çok deneyin gerçekleştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Ancak 1990'lı yıllarda Dr. Taguchi tarafından geliştirilen matematiksel istatistik metodu ile bu parametrelerin farklı seviyelerini bir matematiksel formül yardımıyla düzenlenerek, o seviyeleri temsil edecek en uygun deney şartlarının bir araya getirilmesini sağlamaktadır. Bu sebeple yapılan çalışmada da deneylerin hızlı ve parametre seviyelerini en iyi temsil edecek şekilde düzenlenebilmesi için bu metoda başvurulmuştur. Söz konusu 9 parametrenin üç seviyeli diziliminin Minitab yazılımına yerleştirilmesi ile oluşturulan tabloda toplam 27 adet deney ile bu parametrelerin birbirleriyle etkileşimleri ve nihai ürün üzerindeki etki ağırlıkları tespit edilebilir hale getirilmiştir. Buna göre yazılım yüklemesi sonucunda Tablo 2.2'deki gibi bir dizilim elde edilmiştir.

Tablo 2.2 : Minitab Yazılımı İle Hazırlanmış Tam Faktöriyel Deneysel Tasarım Tablosu

% Mg	T _{sol}	t _{sol}	t _{beleme}	T _{su}	C _{su}	t _{su verme}	t _{beleme2}	T _{aging}	t _{aging}
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
1	1	1	1	3	3	3	3	3	3
1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
1	2	2	2	2	2	2	3	3	3
1	2	2	2	3	3	3	1	1	1
1	3	3	3	1	1	1	3	3	3
1	3	3	3	2	2	2	1	1	1
1	3	3	3	3	3	3	2	2	2
2	1	2	3	1	2	3	1	2	3
2	1	2	3	2	3	1	2	3	1
2	1	2	3	3	1	2	3	1	2
2	2	3	1	1	2	3	2	3	1
2	2	3	1	2	3	1	3	1	2
2	2	3	1	3	1	2	1	2	3
2	3	1	2	1	2	3	3	1	2
2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
2	3	1	2	3	1	2	2	3	1
3	1	3	2	1	3	2	1	3	2
3	1	3	2	2	1	3	2	1	3
3	1	3	2	3	2	1	3	2	1
3	2	1	3	1	3	2	2	1	3
3	2	1	3	2	1	3	3	2	1
3	2	1	3	3	2	1	1	3	2
3	3	2	1	2	1	3	1	3	2
3	3	2	1	3	2	1	2	1	3

Oluşturulan bu tabloda parametre seviyelerini gösteren değerler Tablo 2.2’de yerine yerleştirildiğinde nihai tasarım şeması ve her bir deney için spesifik ve birbirlerinden farklı deney şartları elde edilmiştir. Örneğin bu tablodaki 5. deneyde numunelerin şartları sırasıyla;

- % 0,20 Magnezyum içeren A356.0 alaşımından dökülmüş deney numunesi
- 535 °C’de 6 saat çözeltiye alma safhası
- Çözeltiye alma işleminden çıktıktan sonra en fazla 30 saniye içinde su verilmesi
- Bu bekleme süresi sonunda 60 °C’de 10 dakika boyunca su verilmesi,
- Su verme işleminden sonra 12 saat bekletilerek, 180 °C’de 6 saat boyunca yapay yaşlandırma işlemine tabii tutulması olarak belirlenmiştir.

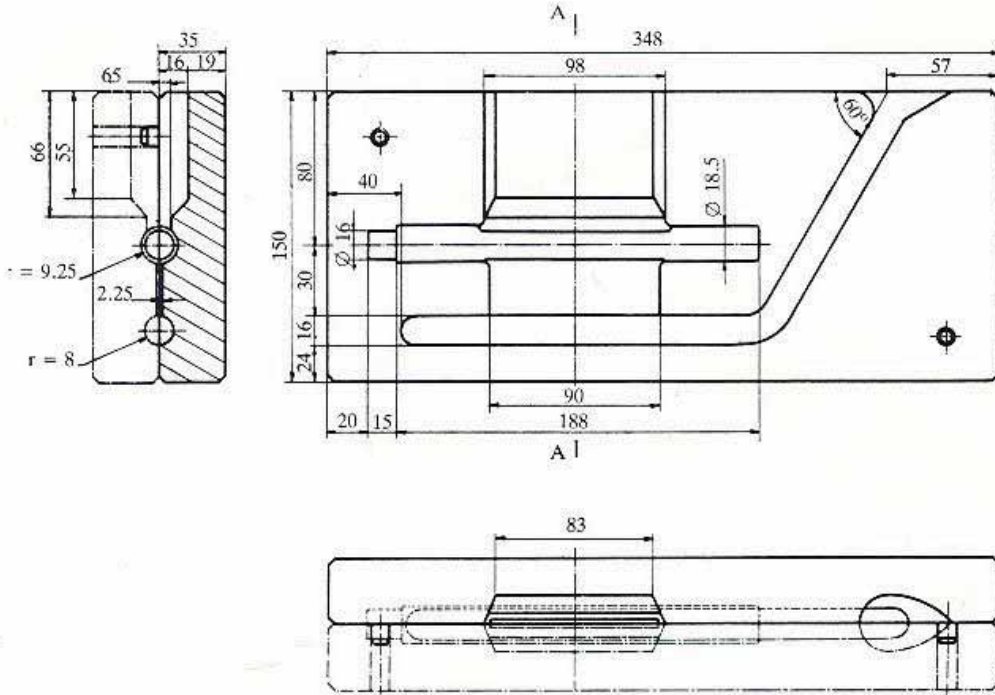
Deneylerin doğrulaması için yazılımda deney sayısı 2 olarak belirlenmiş ve ve her şart için deneyler iki defa yapılmıştır. Bunun sonucunda toplam 54 deney yapılmıştır. Deneysel tasarım safhası tamamlandıktan ve deney şartları net olarak ortaya konulduktan sonra test parçalarının dökümüne başlanmıştır. Her deney setinde veri dağılımının daha iyi görülebilmesi için Şekil 3.1’de kalıp ebatları ve döküm hali ölçüleri belirtilmiş olan 5 adet numune dökülmüş olup, toplamda 135 adet numune dökümü yapılmıştır. Deneylerin iki defa yapılacak olması sebebiyle dökülen bu parçalar eşit iki parçaya bölünerek 270 adet ısıl işleme hazır işlenmemiş (döküm hali) test çubuğu oluşturulmuştur. Test parçalarının dökümü belirlenen Magnezyum seviyelerine göre karışık sıralamayla yapılmıştır.

2.2. Test Parçaları

Tane İnceltme çalışmaları için CMS Jant ve Mak. San. A.Ş. bünyesinde kullanılan OEM seri üretim şartnamelerinde refere edilmiş olan Fransız Standardı NF A 57-702'ye göre Şekil 2.1'de gösterilen test çubukları tercih edilmiş olup test parçası ve kalıba dair resimler Şekil 2.2'de detayları ile verilmiştir.



Şekil 2.1 : Çekme Çubuğu ve Kalıbın Genel Görüntüsü



Şekil 2.2 : NF A 57-702 Standardına Göre Çekme Test Çubuğu Kalıbı (Bütün Ölçüler mm Cinsinden Verilmiştir.)

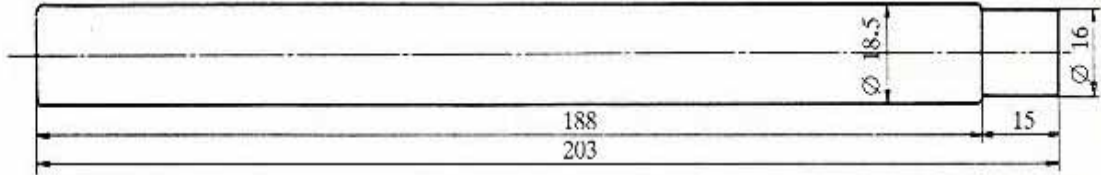
2.3. Döküm

Sıvı metal ve kalıp hazırlama işlemlerinin ardından döküm safhasına geçilmiş olup, numune kalıbının yolluk ve besleme dizaynından da anlaşılacağı üzere gravite döküm yöntemi prensibine göre bir kepçe yardımı ile sıvı metal kalıp içerisine doğrudan boşaltılmıştır. Kalıp parça ayırıcı olarak Foseco Dycote 34 ile kaplanmıştır.

500 °C sıcaklığına ısıtılan kalıp; sıcaklığı 400 °C'ye düştükten sonra 730 ± 15 °C aralığındaki sıvı metal sıcaklığında döküm işlemleri gerçekleştirilmiştir. Metal sıcaklığı her parça dökümü öncesi el pirometresi ile, kalıp sıcaklığı ise lazer pirometre ile ölçülmüştür. Bütün numune dökümleri esnasında kalıp sıcaklığı 400 ± 30 °C aralığında tutulmuştur. Katılaşma işlemi için ayrıca bir soğutma uygulaması yapılmamış olup parçanın kalıp içerisinde kendiliğinden katılaşması sağlanmıştır. Dökümü tamamlanan her parça normal şebeke suyu ile dolu kapta su verilerek soğutulmuştur. Soğutma işleminin ardından markalanan parçalar işlenmek üzere torna atölyesine aktarılmıştır.

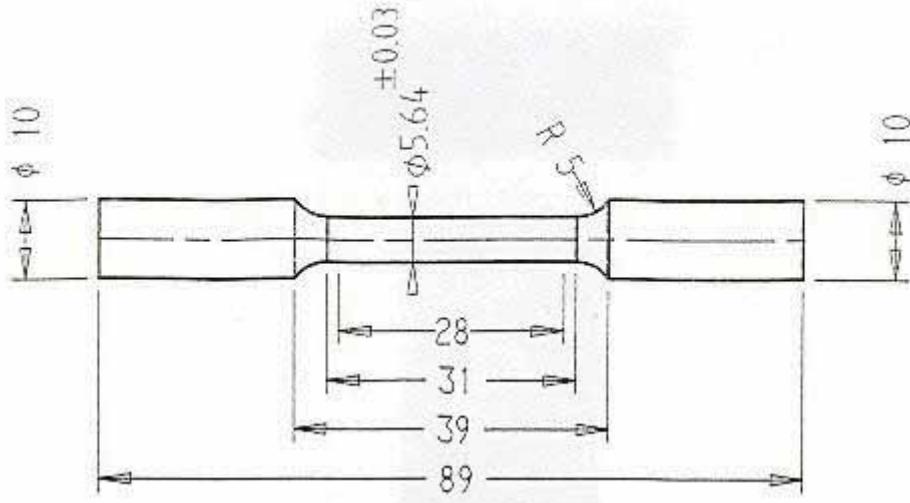
2.4. Numune Hazırlama

Dökümü tamamlanan parçalar besleyici ve yollukları kesildikten Şekil 2.3'de ölçüleri verilen parçalar halinde hazırlanmıştır. Deneylerin tekrarlamalı yapılması sebebiyle Şekil 2.3'deki parçalar iki eşit parça halinde ortadan kesilerek, markalanmış ve ısıl işlem için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 2.3: Çekme Test Çubuğu Döküm Sonrası Ölçüleri

Isıl işlemi tamamlanan numuneler tornada 5,64 mm çapında işlenerek çekme testi için hazır hale getirilmişlerdir. Numunelerin işleme ölçüleri CMS Jant ve Mak San. A.Ş.'de kullanılan OEM şartnameleri doğrultusunda belirlenmiş olup çekme test çubuğunun teknik resmi Şekil 2.4'te verilmiştir.

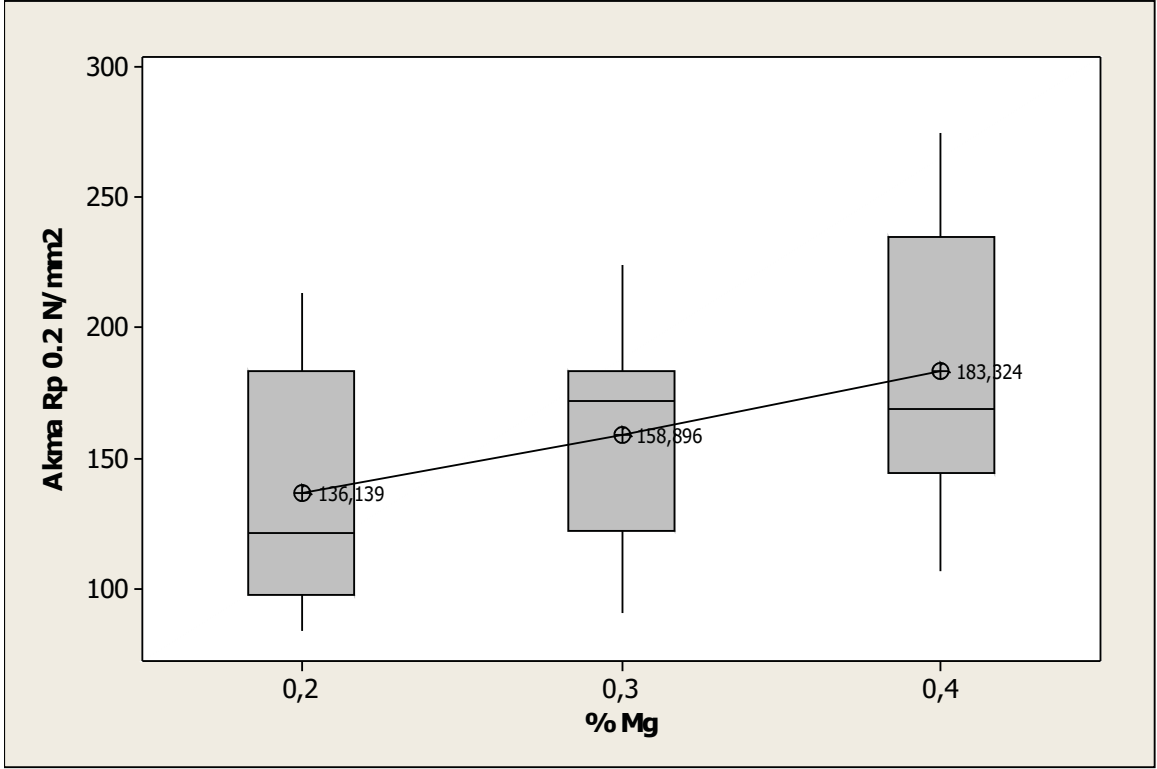


Şekil 2.4: Çekme Testi Numunesi Ölçüleri (Tüm ölçüler mm cinsindedir.)

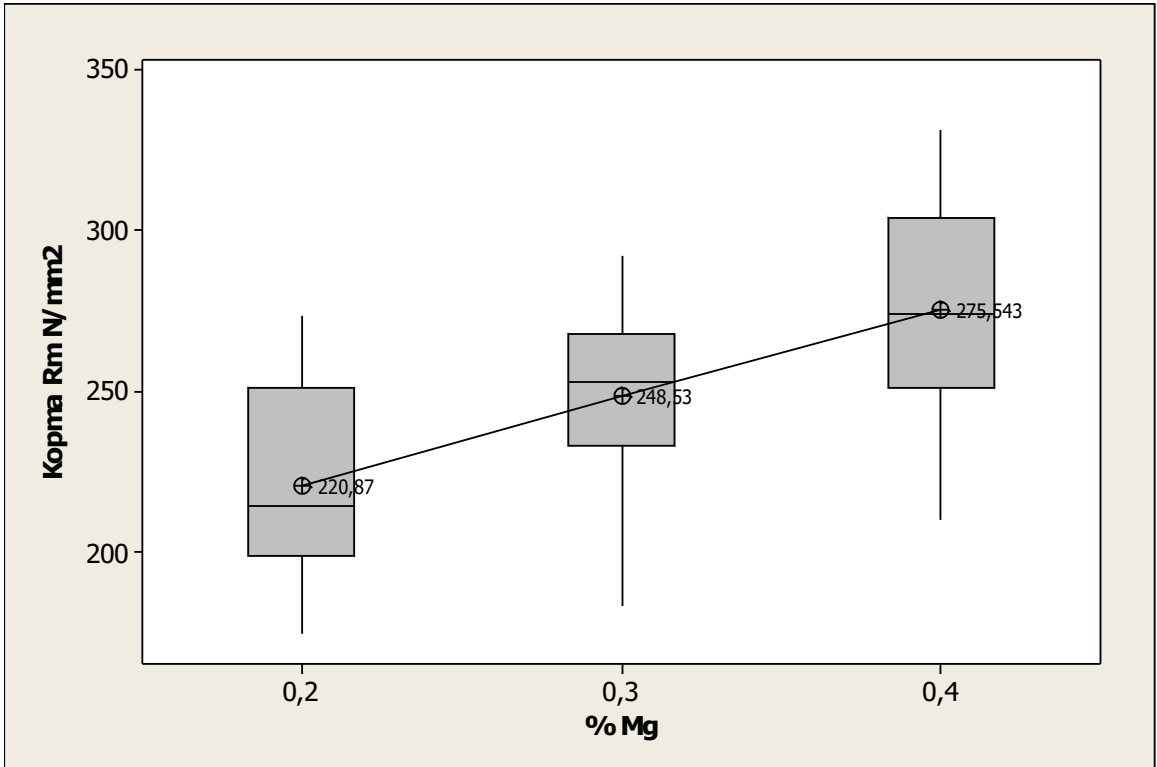
3. SONUÇLAR

Üretim kalitesinin artırılması ve müşteri isteklerinin karşılanabilmesi için CMS Jant ve Mak. San. A.Ş. bünyesinde mevcut bulunan T6 ısıl işlem prosesine ait parametrelerinin mekanik değerlere etkisinin incelenmesi ihtiyacı doğmuştur. Bu ihtiyaçların karşılanabilmesi adına gerçekleştirilen deneysel çalışmada; Tablo 3.1’de bir kısmı verilen değerlere göre temel kriter olan ve firmanın OEM müşterilerinin önemle üzerinde durduğu akma mukavemeti ve uzama yüzdesinin en iyi olduğu değerlerin tüm deneyler içerisinde öncelikle alaşım kompozisyonunun hangi magnezyum içeriğinde elde edildiği incelenmiştir.

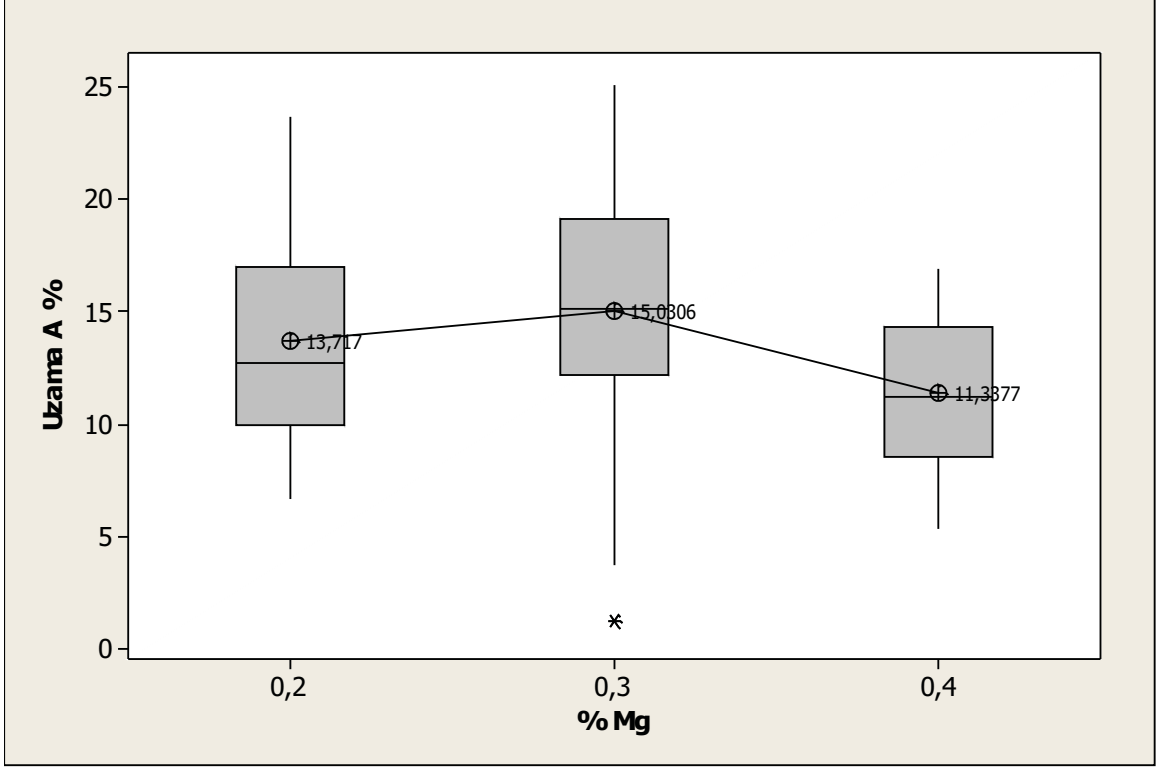
Isıl işlem çalışmaları sonucunda temelde 27 farklı deneyden ve birbirine benzemeyen parametrelerden oluşan iki tekrarlı deneysel tasarım ile toplamda 54 ısıl işlem denemesi gerçekleştirilmiş ve bu denemelere ait numunelerin çekme testleri sonucunda elde edilen mekanik değerlerin dağılımı % Mg içeriğine göre tüm deney sonuçlarının dağılımını gösterecek şekilde oluşturulan kutu dağılım ve aralık (Boxplot) grafikleri ile Şekil 3.1, 3.2 ve 3.3’de verilmiştir. Söz konusu grafiklerde % Mg içeriğine göre tüm deneylerin gruplandırılması ile oluşan ortalama da eklenmiş olup, bu değerler ışığında beklenildiği üzere akma ve kopma mukavemetinin artan Magnezyum oranı ile orantılı olduğu ancak % uzama için Magnezyum oranının kritik olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 3.1: % Mg Seviyesine Göre Akma Mukavemeti Dağılımı



Şekil 3.2: % Mg Seviyesine Göre Kopma Mukavemeti Dağılımı



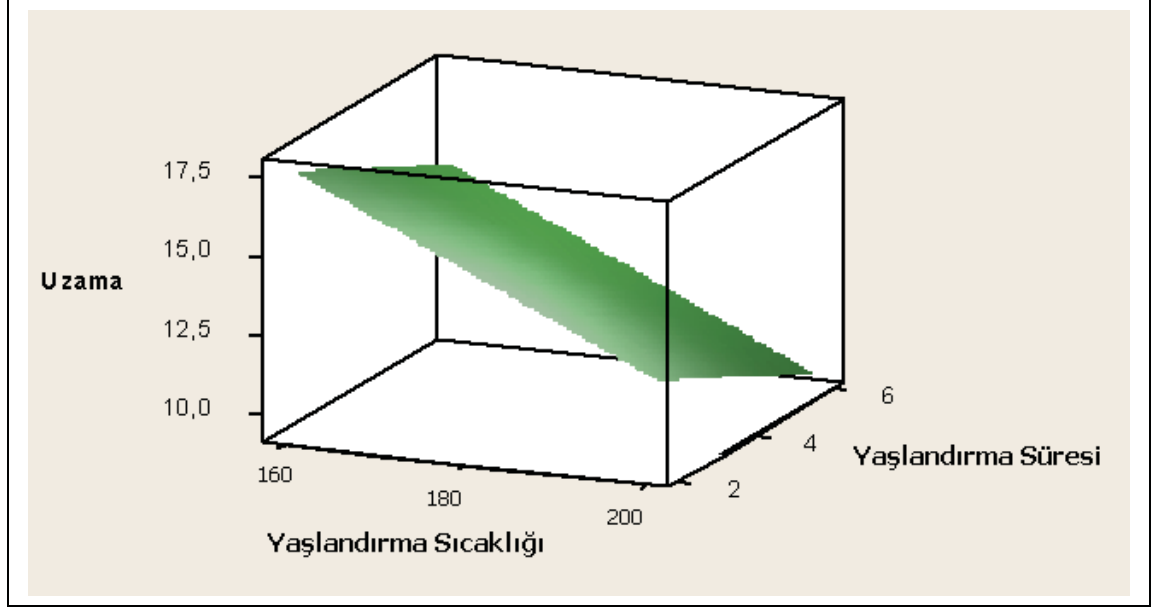
Şekil 3.3: % Mg Seviyesine Göre % Uzama Dağılımı

Çalışma sonucunda grafiksel analizin yanı sıra dökümü gerçekleştirilen tüm test numunelerine ait çekme testi verileri Minitab programına girilmiş ve deney tasarımı parametreleri ile birleştirilerek akma mukavemeti ve uzama yüzdesini hangi parametrelerin etkilediği tespit edilmiştir.

Buna göre; akma ve uzama değerlerinin öncelikle Mg yüzdesi, daha sonra yapay yaşlandırma işleminin sıcaklığı ve süresince etkilediği belirlenmiştir.

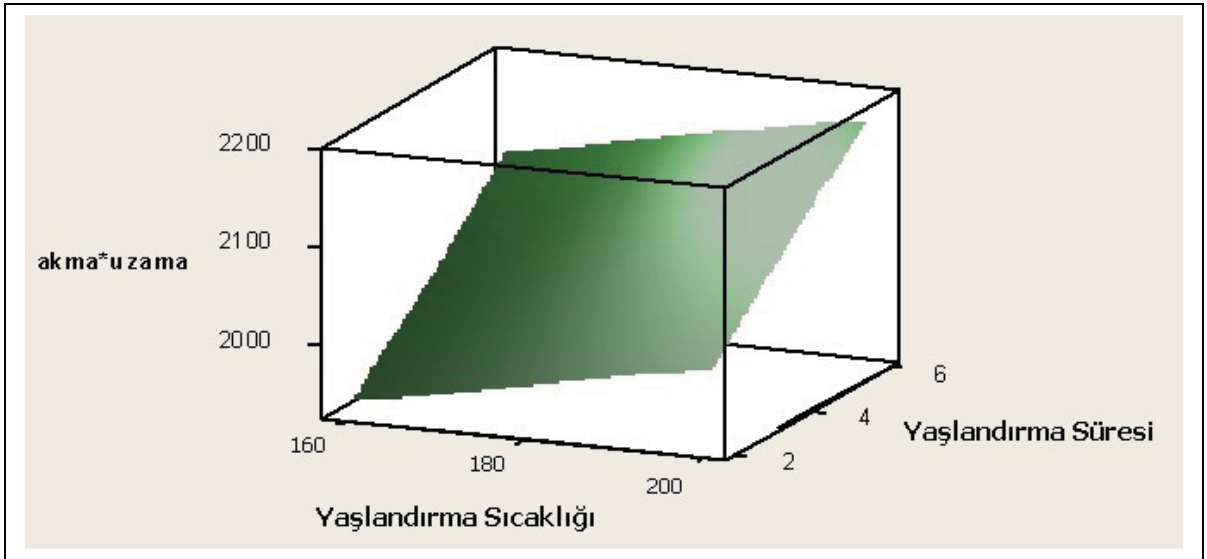
Çekme testi sonuçları üzerinden istatistiksel değerlendirme yapıldığında en iyi uzama yüzdesi değerlerinin Şekil 3.3’de de görülebileceği gibi % 0,30 Mg içerikli alaşım kompozisyonu ile elde edildiği çalışma sonunda tespit edilmiştir. Buna göre % 0,30 Mg içeriği için uzama yüzdesi değerlerinin yaşlandırma sıcaklığı ve süresi ile olan ilişkisinin tam olarak anlaşılması için Minitab programı yardımı ile “Surface Plot” grafiği oluşturulmuştur.

Şekil 3.4’te verilen bu grafik ile elde edilen yüzey çizgileri sonucunda deneysel parametreler içerisinde en düşük sıcaklık değerinde en az süre ile yaşlandırma işlemi sonucunda en yüksek uzama değerinin elde edilebileceği görülmüştür. Aynı zamanda söz konusu grafik tekrar incelendiğinde sıcaklıktaki değişimin, süredeki değişime oranla uzama değerleri üzerinde daha baskın bir etkiye sahip olduğu tespit edilmiş, deneysel tasarım parametreleri içerisinde en yüksek sıcaklık ve en uzun sürede uzamanın minimuma düştüğü gözlemlenmiştir.



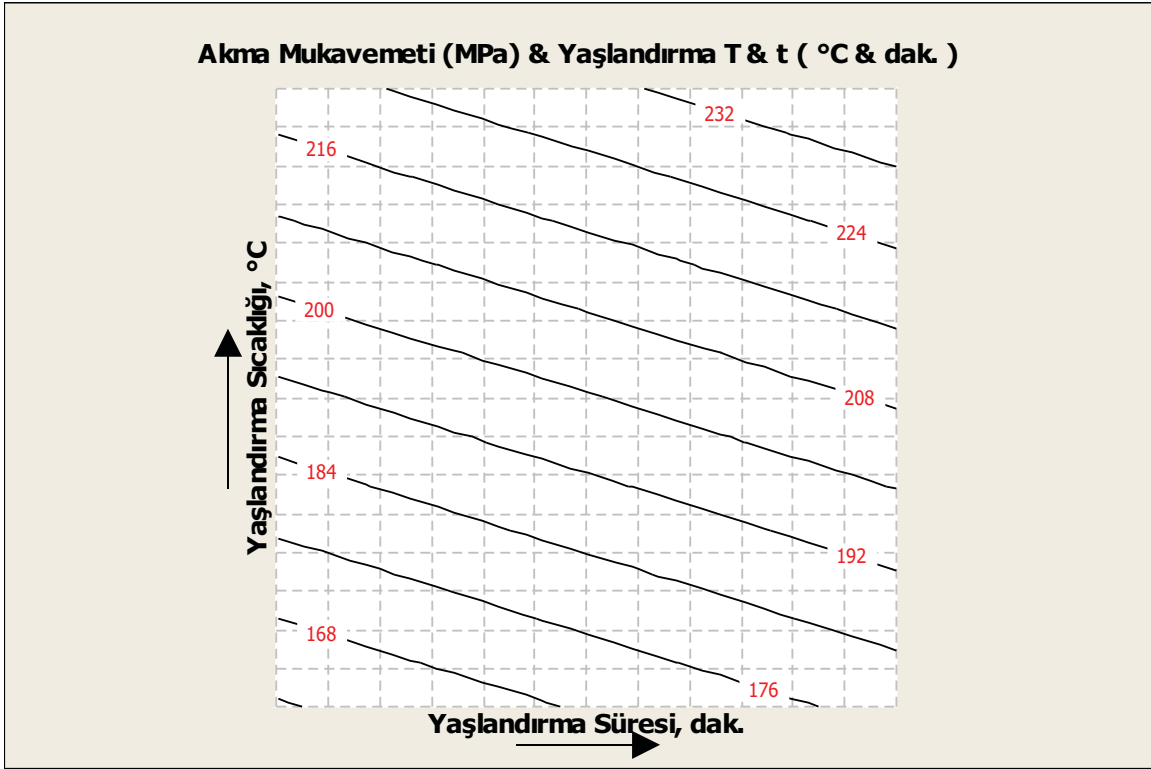
Şekil 3.4 : % 0,30 Mg Seviyesi İçin Uzama Yüzdesinin Değişimi

Uzama değerlerine etkisi belirlenen parametreler tespit edildikten sonra sadece uzama değerlerinin veya akma mukavemeti değerlerinin müşteri spesifikasyonlarını karşılayamayacağı bilindiğinden dolayı, her iki değer ortak olarak etkilendiği parametrelerin belirlenebilmesi için Minitab programı ile aynı prosedür izlenerek akma ve uzama değerlerinin birlikte seçildiği yüzey eğrileri oluşturulmuş ve şartlar incelenmiştir. Şekil 3.5’de verilen bu grafiğe göre % 0,30 Mg seviyesinde yapay yaşlandırma aşaması için deneysel parametrelerin en yüksek olduğu süre ve sıcaklıkta uzama ve akma değerlerinin en iyi seviyede olduğu tespit edilmiştir. Buna göre; yaşlandırma süresindeki değişikliğin, sıcaklıktaki değişikliğe göre söz konusu iki değer üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olduğu saptanmıştır.

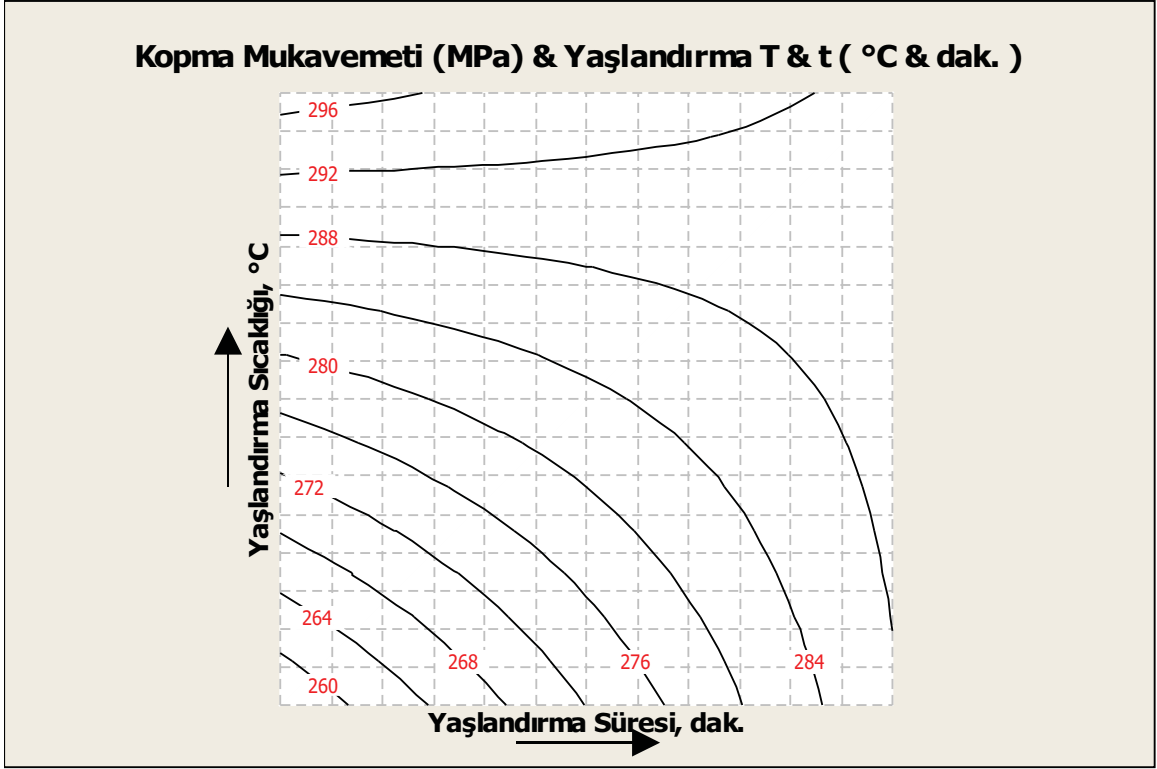


Şekil 3.5: % 0,30 Mg Seviyesi İçin Akma ve Uzama Değerlerinin Değişimi

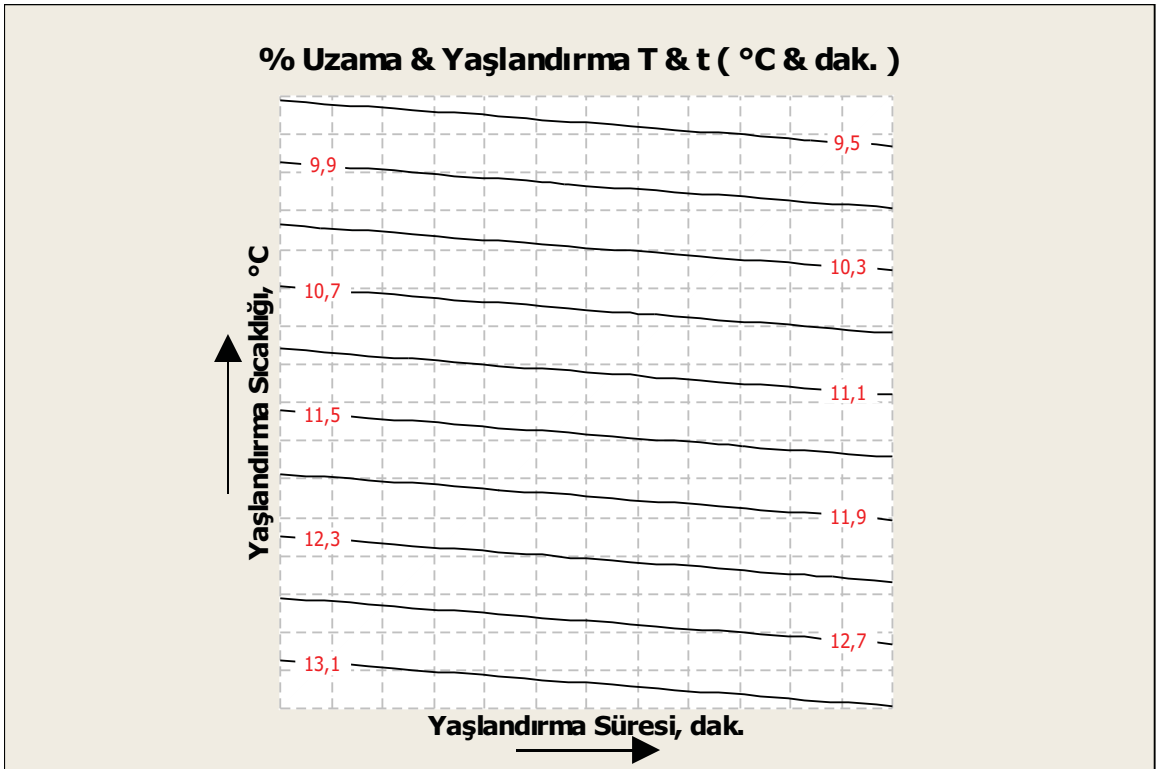
Ancak, bu çalışmanın başlangıç noktasını oluşturan döküm parçasına ait uzama değerinin müşteri spesifikasyonlarını tam olarak karşılayabilmesi için birbirleri ile zıt bir durum sergileyen yüzey eğrileri ve dolayısıyla parametre seçimi bu noktada kilit rol oynamaktadır. Dolayısıyla müşteri isteği olan uzama yüzdesi sağlanmaya çalışılırken döküm parçasının servis ömrü ve mekanik dayanımını etkilemeyecek parametrelerin seçiminin yapılması ihtiyacı doğmaktadır. Buna göre Şekil 3.4 ve 3.5'deki grafikler incelenerek bahsi geçen kazanımları sağlamak adına CMS Jant ve Mak. San. A.Ş.'ye ait ısıl işlem fırınlarında proses parametreleri belirlenmiş ve laboratuvar ölçeğinde belirlenen bu parametreler için seri üretim koşullarında denemeler yapılarak gerçek ürün üzerinde ısıl işlem parametrelerinin etkisini görmeye yarayacak ısıl işlem haritasının çıkarılması için veri toplanmasına başlanmıştır.



Şekil 3.6: % 0,30 Mg Seviyesi İçin Seri Üretim Sonuçlarına Dayalı Akma Mukavemeti Haritası



Şekil 3.7: % 0,30 Mg Seviyesi İçin Seri Üretim Sonuçlarına Dayalı Kopma Mukavemeti Haritası



Şekil 3.8: % 0,30 Mg Seviyesi İçin Seri Üretim Sonuçlarına Dayalı % Uzama Haritası

Isıl işlem tesislerinin devreye alınmasında veya farklı firma isteklerine istinaden yeni ısıl işlem koşullarının belirlenmesinde Şekil 3.6, 3.7 ve 3.8’de örneği görülen “ Isıl İşlem Haritaları “ kullanılmaktadır. Jant üretimi için CMS Jant ve Mak. San. A. Ş. bünyesinde kullanılan bu haritalar; 20 farklı modelin DOE mantığında hazırlanan seviyelerde ısıl işleme tabi tutulması ve bu jantların çekme test sonuçları çıktılarının Minitab İstatistiksel Analiz Programı kullanılarak matematiksel olarak formülize edilmesiyle oluşturulmuştur. Bu haritalar, belirli ısıl işlem sıcaklık aralıklarında geçerlidir ve malzeme özelliklerinde değişim olmadıkça geçerliliklerini korurlar.

Çalışma sonuçlarına göre Şekil 3.6, 3.7 ve 3.8’de bulunan metalurjik değerlerin değişimini belirleyen harita oluşturulmuş ve proses tasarımının doğrulanması sağlanarak ısıl işlem prosesi işletme ekonomisi ve yüksek ürün kalitesi için optimize edilmiştir.

Söz konusu optimizasyon sonucunda, jantlara uygulanan T6 ısıl işleminde çözeltiye alma süresi yaklaşık 1 saat, yaşlandırma süresi de yaklaşık 0,5 saat kısaltılarak;

- Verimlilik artışıyla ekonomik kazanç sağlanmış,
- Isıl işlem prosesindeki jant başına atık gaz miktarı azalmış, ve
- Ürün kalitesinde artış sağlanmıştır.

4. REFERANSLAR

- [1] **Geçkinli, E.**, 2002. Alüminyum ve Alaşımlarının Isıl İşlemi, 2. *Isıl İşlem Sempozyumu*, İstanbul, TÜRKİYE, Şubat 07-08.
- [2] **Askeland, D.R.**, 1990. The Science and Engineering of Materials, 2. Edition, Chapman&Hall s. 423.
- [3] **Gruzleski, J.E., Closset, B.M.**, 1990. *The Treatment of Liquid Aluminium – Silicon Alloys*, American Foundrymen's Society.
- [4] **Kashyap, K.T., Chandrashekar, T.**, 2001. Effects and Mechanisms of Grain Refinement in Aluminium Alloys, *Bull. Mater. Sci., Indian Academy of Sciences Bangalore*, **24/4**, 345-353.