

# CGI MOTOR BLOK MALZEMESİNİN İŞLENEBİLİRLİĞİ

Eser YILDIRIM ve Yunus KAYIR<sup>a\*</sup>

<sup>a\*</sup>Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fak. Makine Eğitim. Bölümü  
Tel: 0312 2028678 [ykayir@gazi.edu.tr](mailto:ykayir@gazi.edu.tr) 06500 Teknikokullar/ANKARA

## Özet

CGI, yeni bir malzeme olmayıp gri ve küresel dökme demir malzemelerine göre işlenebilirliğinin kötü olması yaygın kullanımını geciktirmiştir. Son yıllarda CGI malzemesine yönelik yapılan çalışmaların olumlu sonuçları, bu malzemenin kullanımını artırmaya başlamıştır. CGI malzemesi, fiziksel ve kimyasal özellikleri açısından otomotiv sanayisinde motor blok yapımında tercih edilmektedir.

Bu makalede, CGI, malzemesinin işlenebilirliğine yönelik yapılan çalışmalar incelenmiştir. Elde edilen bilgiler, üç kısımda ele alınmıştır. İlk olarak CGI malzemesinin, kullanım alanları, kimyasal ve mekanik özelliklerine yönelik bilgiler verilmiştir. İkinci kısımda, işlenebilirlik çalışmalarında kullanılan yöntemler, kesiciler ve kesme parametrelerine yer verilmiş, yapılan testler ve ölçümler ele alınmıştır. Son bölümde işlenebilirlik çalışmalarında elde edilen sonuçlar derlenmiştir.

Yapılan çalışmaların incelenmesi sonucunda, CGI malzemesine yönelik, çalışmaların son yıllarda ivme kazandığı, işlenebilirliği açısından değişik yöntemlerin, kesicilerin ve kesme parametrelerinin denendiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** CGI, İşlenebilirlik, Vermiküler Dökme Demir

## 1. Giriş

CGI (Compacted Graphite Iron), FCV (Ferrum Casting Vermicular) yada VGI (Vermicular Graphite Iron) olarak da bilinmektedir. Yeni bir malzeme olmadığı halde işlenebilirliğindeki zorluklar nedeni ile CGI imalat çevrelerinde son zamanlara kadar nadiren kullanılmıştır. Günümüzde, döküm teknolojilerinin gelişmesi ile CGI malzemesinin işlenmesi sırasındaki zorluklar kısmen giderilmeye başlanmıştır [1].

Mikro yapısı ve malzeme özellikleri bakımından CGI, gri dökme demir ile yumuşak dökme demir arasındaki bir malzemedir. Farklılık, döküm esnasında ilave edilen elementler ve değişik soğutma oranlarından kaynaklanmaktadır. Malzeme gri dökme demirden daha mukavim, daha iyi ısı iletkenliği, büzülmeye karşı mükemmel direnç ve sfero (küresel grafitli) dökme demire göre çok daha iyi ısıl yorulma direnci özelliklerine sahiptir [1].

Yapısında normalde %10-30 arasında serbest ferrit ihtiva eder. Vermicular yapı ve grafit tabakalarındaki yuvarlak kenarlar diğer demirlere göre üstün malzeme özellikleri kazandırır. CGI'in kimyasal içerik ve oranları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. LP-CGI = Düşük perlitli CGI = % 70 perlitli , HP-CGI = Yüksek perlitli CGI = % 95 perlitli [2]

	C	Si	Mn	S	Mg	Al	Cu	Cr	Sn
LP-CGI	3,6-3,8	2,1-2,5	0,2-0,4	0,005-0,0002	0,006-0,014	0,003-0,088	0,003-0,088	0,2-0,3	0,03-0,05
HP-CGI	3,6-3,8	2,1-2,4	0,43	0,018	0,012	-	0,96	0,03	1,06

CGI'nın ısı ve titreşim giderme karakteristikleri sfero dökme demir(NCI) ve Gri dökme demir (CI)'in arasındadır. Metal yorgunluğuna karşı direnç, gri demire oranla iki katıdır [3]. Dökme Demir (CI) ile karşılaştırıldığında çekme gerilimi yorulma gerilimi, elastik modülü özellikleri daha gelişmiş olup daha üstün dayanım özelliklerine sahip olan CGI malzemesi daha verimli olması ve düşük atık seviyeleri gibi sağladığı avantajlardan dolayı tercih edilir. CGI'ın yüksek mukavemet ve malzeme özellikleri motor bloklarının daha dayanıklı, daha düşük ağırlıklı, daha iyi ölçüsel toleranslı, gürültü, titreşim, sertlik özellikleri ile üretilmesi anlamına gelmektedir. Ayrıca CGI gri dökme demire göre daha az paslanma ve aşınma özelliklerine de sahiptir [2]. CI, CGI ve NCI'nın mekanik özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Bazı malzemelerin mekanik özelliklerinin karşılaştırması [4]

Özellikler	CI	CGI	NCI
Çekme Dayanımı (MPa)	250	450	750
Young Modülü (GPa)	105	145	160
Yorulma Direnci (MPa)	110	200	250
Isı iletkenliği (W/(mK))	48	37	28
Sertlik (HB)	179-202	217-241	217-255
Bağıl sönümlenme Kapasitesi	1.0	0.35	0.22

Özellikle son 10 yıldır yapılan çalışmalarla CGI, otomotiv endüstrisinde önemli bir konuma ulaştı. Bu malzeme, otomotiv endüstrisinde imal edilen fren diskleri, egzoz manifoldları, motor bloğu üst gövdeleri ve dizel motor blokları gibi parçaların imalat malzemesi olarak, ayrıca yüksek basınç gerektiren yanma odalarında kullanılmaktadır. Bununla birlikte bu malzeme motor bloklarında yanma odalarının, uygun mukavemette daha ince çeperli yapılmasına imkan tanıyarak motor bloğunun daha hafif olmasını sağlar[1].

CGI'ın Kullanıldığı Yerler; [2]

Dizel motor blokları,  
Dizel silindir kafaları,  
Deniz motorları,  
Tarım ekipmanları,  
Lokomotiflerde kullanılan dizel motorlar,  
Lokomotiflerde kullanılan fren diskleri.

Otomotiv endüstrisinin yanında deniz ve demiryolu endüstri üreticileri de bu malzemeyi kullanmaktadır.

Bu makalede, CGI malzemesine yönelik olarak 1990-2012 yılları arasında yapılan işlenebilirlik çalışmaları, tek tek tasnif edilmiştir. Elde edilen yayınlar, kullanılan işlenebilirlik yöntemleri, kesiciler ve

kesme parametreleri, yapılan testler ve ölçümler gibi bazı açılardan tek tek incelenmiştir. Makalenin sonuç bölümünde ise incelenen makalelere yönelik elde edilen sonuçlar toparlanarak irdelenmiştir.

## 2. GGI Motor Blok Malzemesinin İşlenebilirliği

Yapılan araştırmalarda CGI malzemesine yönelik yapılan işlenebilirlik çalışmalarının az ve özellikle son yıllara ait çalışmalar olduğu görülmüştür. Bunun sebebi olarak da, diğer dökme demirlere kıyasla işlenebilirliği kötü olan CGI malzemesinin imalat sanayisinde talep görmemesi gösterilebilir. Fakat, son yıllarda, CGI malzemesine yönelik yapılan döküm iyileştirme çalışmaları, iyi bir seviyeye gelmiş durumdadır. İlave edilen alaşım elementleri ve uygulanan ısıl işlemleri ile CGI'nin elde edilen türlerinin (CGI 350, CGI 450, CGI 550, vb.) işlenebilirliği iyileşmektedir.

Yapılan işlenebilirlik çalışmalarında, genelde CGI malzemesi ile CI, NCI malzemeleri ile kıyaslanmıştır. Bununla birlikte, bünyesinde Ti gibi farklı elementler içeren CGI malzemesinin işlenebilirliğine yönelik çalışmalara rastlanmıştır. Elde edilen çalışmalar, sırası ile belirli açılardan ele alınmıştır:

Kullanılan Yöntemler,  
Kullanılan kesiciler ve kesme parametreleri,  
Kesme şartları,  
Yapılan ölçüm ve testler  
Kullanılan Analiz yöntemleri  
Elde edilen sonuçlar

### 2.1. Kullanılan Yöntemler

Yapılan çalışmalarda ağırlıklı olarak tornalama yöntemi tercih edilmiştir [9-17]. Genelde de CNC takım tezgahları kullanılmıştır. Tornalama yöntemlerinde belirli çap ve boyutlarda hazırlanmış olan CGI malzemesi, ayna/punta arasına bağlanarak işlenmiştir. Yapılan çalışmalarda CGI deney parçaları, içi dolu kütük [9,10,11,12,13] veya içi boş boru şeklinde malzemelerden hazırlanmıştır [15,17]. Bazı çalışmalarda [9,17] ise, Titanyum içeren ve uygulanan ısıl işlemler sonucu elde edilen farklı mikro yapıya sahip CGI malzemeler kullanılmıştır [12,13].

İncelenen çalışmalarda, frezeleme yöntemi ile CGI malzemesinin işlendiği farklı birkaç malzeme ile kıyaslandığı görülmüştür [5]. Kullanılan frezeleme yöntemlerinde genelde belirli boyutlarda hazırlanan prizmatik şeklinde parçaların yüzeylerinden talaş kaldırılması şeklinde deneyler yapılmıştır.

Elde edilen işlenebilirlik çalışmalarında, delik delme ve raybalama yöntemleri ile CGI malzemesi işlendiği görülmüştür [6,7,8,1]. Bu çalışmaların bir kısmında, sadece delik delme [6,7,1] yapılırken çok az bir kısmında ise hem delik delme ve hem de raybalama birlikte ele alınmıştır [8]. Raybalama ile yapılan işlenebilirlik çalışmalarının oldukça kısıtlı olduğu yapılan makale taramalarında görülmüştür. Ulaşılabilen çalışmalar ise bu makalede yer verilmiştir. Delik delme işlemlerinde genellikle karbür matkaplar tercih edilmiştir. Delik delme ve raybalama işlemlerinde CNC Freze tezgahları kullanılmıştır.

### 2.2. Kullanılan Kesiciler ve Kesme Parametreleri

CGI malzemesinin işlenmesinde, kaplamalı ve kaplamasız olarak, karbür kesiciler, PCD, PCBN, sermetler ve seramikler kullanılmıştır.

Tornalama çalışmalarında, kullanılan Kaplamalı (TiN-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiCN) ve kaplamasız takımlar için kesme hızı V=150-250 m/dak arasında alınmıştır [9,11]. PCD kesiciler için kesme hızı V=210 m/dak olarak alınmıştır [11]. İlerlemeler açısından ise; kaplamalı ve kaplamasız kesiciler için f=0,15-0.3 mm/dev

aralığında [9,11] alınmıştır. Tornalama yöntemi kullanılarak yapılan deneylerde talaş derinliği  $a=0,127-2$  mm aralığında seyretmiştir [9-13 ve 17].

Frezeleme işlemlerinde kaplamalı ve kaplamasız karbür takımlara yönelik olarak kesme hızı  $V=150-250$  mm/dak kullanılmıştır [11]. PCBN takımlarda bu oran  $V=400$  ve  $800$  m/dak kadar çıkmaktadır [10]. Bununla birlikte, kaplamalı kaplamasız Sermetler kesiciler de kesme hızı  $V=600-1000$  m/dak aralığında alınmıştır. Frezeleme yöntemlerinde ilerlemeler  $a=0,15-0,3$  mm/diş aralığında alınmıştır. Talaş derinliği olarak da  $a=0,2$  mm ve  $2$  mm arasında kalmaktadır [5].

Delme yöntemi kullanılarak CGI malzemesinin işlenmesinde genelde kaplamalı (TiAlN)ve kaplamasız karbür matkaplar kullanılmıştır [6-8,T1]. Fakat, bazı çalışmalarda kaplamalı HSS matkaplarında kullanıldığı görülmüştür [1]. Deneylerde, matkap çapı olarak  $\varnothing 6-10$  mm aralığı tercih edilmiştir [1,6,7,8]. Kesme hızı aralığı olarak  $V=70-100$  m/dak alınmıştır. İlerleme için ise  $f=0,15-0,40$  mm/dev aralığı kullanılmıştır. Delik delme derinliği olarak da  $t=10-30$  mm arası kullanılmıştır [6,7,8].

CGI malzemesinin raybalanmasında ise, kaplamalı ve kaplamasız kesiciler kullanılmıştır. Raybalama işlemlerinde kesme hızı olarak  $40-50$  m/dak, ilerleme olarak  $0,2$  mm/dev ve raybalama delik derinliği olarak da  $30$  mm alınmıştır.

İncelenen çalışmalardan CGI malzemesinin işlenmesinde en çok kullanılan kesme değerleri çizelge olarak çıkarılmıştır.Çizelge 3'te, CGI malzemesinin frezelenmesi ve tornalanmasına yönelik ve Çizelge 4'te de tornalanmasına yönelik kullanılan kesici türleri ve kesme parametreleri için aralık değerleri verilmiştir.

Çizelge 3. CGI malzemesinin tornalanması için önerilen kesici ve kesme parametreleri [10].

İşleme Yöntemi	Kesici tipi	Kesme hızı (V: m/min)	İlerleme (F: mm/diş)	Talaş derinliği (a:mm)
Frezeleme	Karbür	150-250	0,15	2
	PCBN	400-800	0,15	2
Tornalama	Karbür	150-250	0,3	0,20
	PCBN	400-800	0,3	0,15

Çizelge 4. CGI malzemesinin tornalanması için önerilen kesici ve kesme parametreleri [10].

İşleme Yöntemi	Kesici tipi	Kesme hızı (V: m/min)	İlerleme (F: mm/diş)	Delme boyu (L:mm)
Delik delme	Karbür	70-90	0,1-0,3	10-30

### 2.3. Kesme Şartları

Sıkıştırılmış grafitli demir (CGI)'nin işlenebilirliği üzerine yapılan çalışmalarda, kuru ve sulu olmak üzere her iki kesme şartı da kullanılmıştır. Fakat, kuru kesme şartları kullanılarak yapılan çalışmalar çoğunluktadır [1, 4, 5, 7, 10, 12, 13, 14]. Sulu kesme şartları ile yapılan çalışmalarda, %8 su bazlı kesme sıvıları [6, 8], Cryogenic CO<sub>2</sub> soğutma [11] ve Minimal Quantity Lubrication (MQL) soğutma gibi yöntemler kullanılmıştır [15, 16].

### 2.4. Yapılan Ölçüm ve Testler

CGI malzemesinin işlenebilirliğine yönelik kullanılan, Tornalama [9-13,17], Frezeleme [5], Delik delme ve Raybalama [6-8,1] yöntemlerin genelinde, takım aşınmaları, kesme kuvvetleri, elde edilen yüzeyin pürüzlülükleri ve meydana gelen sıcaklıklar ölçülmüştür. Takım aşınmalarının belirlenmesinde, optik mikroskop veya SEM cihazları kullanılmıştır. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesinde hazır standart

dinametreler kullanılmıştır. Sıcaklıkların ölçülmesinde ise genellikle ısı çifti (termokupl), azda olsa bazı çalışmalarda, ısı kameraların da (ThermaSC3000) kullanıldığı görülmüştür [14].

## 2.5. Ölçüm Sonuçları

Delinebilirlik çalışmalarında, CGI malzemesinin kaplamalı karbür matkaplar ile delinmesinde yüzey pürüzlülük değerleri  $0,84\mu\text{m} - 3,89\mu\text{m}$  arasında, takım aşınmaları ise  $0,029\text{mm} - 0,22\text{mm}$  arasında ölçülmüştür. HSS matkap ile delinen deliğin pürüzlülük değerleri ise  $5,52\mu\text{m} - 7,48\mu\text{m}$  arasında ölçülmüştür [1]. Farklı alaşımlara sahip CGI'lerin kaplamalı karbürler ile delinmesinde 20m'lik işlem sonrasında  $0,4\text{ mm}$  aşınma görülmüştür. Aynı zamanda ilerleme ve tork ölçümleri  $4\text{ Nm} - 5\text{ Nm}$  arasındadır[7]. Aynı matkap ile CGI malzemesinin delinmesi sonucunda elde edilen takım aşınması  $0,10\text{ mm}^2 - 0,12\text{ mm}^2$  iken gri dökme demirde  $0\text{ mm}^2$  olduğu görülmüştür. Delme torkları gri dökme demirde  $0,9\text{ ib}$  sabit iken CGI'da  $1,12\text{ ib}$ 'ye kadar arttığı görülmüştür. Raybalama sonrasında yüzey pürüzlülüğü  $2,2\mu\text{m}$  iken gri dökme demirde  $1,2\mu\text{m}$  ölçülmüştür. Bu değerler soğutma sıvısı kullanılarak CGI'de  $1\mu\text{m}$ 'ye kadar düşmüştür [8].

Tornalama çalışmalarında, Ti oranı  $0,03$  olan CGI'lerde  $160\text{m/dk}$  kesme hızlarında ölçülen pürüzlülük değerleri  $0,7\mu\text{m} - 2,2\mu\text{m}$  arasında,  $250\text{m/dk}$  kesme hızında  $0,7\mu\text{m} - 3,2\mu\text{m}$  arasında ölçülmüştür. Ti oranı  $0,007$  olan malzemelerde  $160\text{ m/dk}$  kesme hızında  $0,7\mu\text{m} - 2\mu\text{m}$  arasında,  $250\text{ m/dk}$  kesme hızında  $0,7\mu\text{m} - 1,5\mu\text{m}$  arasındadır. Kesme gücü ise  $1,55 - 1,7\text{ KW}$  olarak ölçülmüştür[9]. PCD takımlar ile  $\text{CO}_2$  soğutma yöntemi ile  $210\text{ m/dk}$ ,  $230\text{ m/dk}$  ve  $250\text{m/dk}$  kesme hızlarında takım aşınmaları sırasıyla  $70\mu\text{m}$ ,  $600\mu\text{m}$  ve  $600\mu\text{m}$  ölçülmüştür. Kesme kuvvetleri sırasıyla  $105\text{N}$ ,  $250\text{N}$  ve  $225\text{N}$  ölçülmüştür. Kesme sıcaklıkları ise  $40\text{ dk}$ 'da  $60\text{C}^\circ$ ,  $80\text{C}^\circ$  ve  $162,5\text{ C}^\circ$  olarak ölçülmüştür [11].  $150\text{m/dk}$ ,  $170\text{m/dk}$ ,  $190\text{m/dk}$  ve  $210\text{m/dk}$  kesme hızlarında elde edilen pürüzlülük değerleri sırasıyla  $1,99\mu\text{m} - 4,08\mu\text{m}$  arasında,  $2,01\mu\text{m} - 3,86\mu\text{m}$  arasında,  $2,07\mu\text{m} - 3,92\mu\text{m}$  arasında,  $1,87\mu\text{m} - 3,86\mu\text{m}$  arasında ölçülmüştür. Kesme kuvveti değerleri sırasıyla  $732,70\text{ N} - 1003,63\text{ N}$  arasında,  $707,19\text{N} - 993,87\text{N}$  arasında,  $708,79\text{N} - 1002,59\text{N}$  arasında ve  $711,03\text{ N} - 969,36\text{ N}$  arasında ölçülmüştür [12, 13].

Frezeleme çalışmalarında, takım aşınmaları  $600\text{m/dk}$  kesme hızında  $0,33\text{mm}$ ,  $800\text{m/dk}$  kesme hızında  $0,28$  ve  $1000\text{m/dk}$  kesme hızında  $0,20\text{mm}$

## 2.6. Kullanılan Analiz Yöntemleri

İncelenen makalelerde, CGI malzemesinin işlenebilirlik çalışmalardan elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde değişik yöntemlerin kullanıldığı görülmüştür. Çalışmaların bir kısmında, elde edilen sonuçlar (yüzey pürüzlülükleri, kesme kuvvetleri ve takım aşınmaları, takım ömrü) kullanılan kesme parametreleri ile ilişkilendirilerek oluşturulan grafikler yorumlanmaya çalışılmıştır [9,10,11]. Bazılarında ise elde edilen sonuçlar üzerinde çeşitli statiksel analizler yapılmıştır. Kullanılan kesme parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme, talaş derinliği, kesme şartları, kullanılan kesici, vb.), yüzey pürüzlülüğü, takım aşınması, takım ömrü, kesme kuvvetleri üzerinde ne ölçüde etkili olduklarının belirlenmesinde varyans (ANOVA) analizi kullanılmıştır [1, 12, 13, 17]. Etkili olan parametrelere yönelik denklemlerin elde edilmesinde regresyon analizlerinin de kullanıldığı görülmüştür [12, 13, 17]. Bazı çalışmalarda ise Taguchi tekniği kullanılarak modeller oluşturulmuştur. Bu teknik sayesinde, yüksek maliyetler gerektiren deneylerin azaltılarak optimum sonuca ulaşmak için gerekli sayıda deneylerin yapılması sağlanmıştır [1].

## 2.7. Elde Edilen Sonuçlar

İncelenen çalışmalarda, CGI alaşımındaki Ti içeriğinin takım aşınmalarını arttırdığı ve buna bağlı olarak takım ömrünü azalttığı, yüzey pürüzlülük ve kesme gücünü etkilemediğini tespit edilmiştir [9].

CGI işlenebilirliğini yükseltmek için aşındırıcı etki yaratan titanyum ve krom gibi elementlerin minimum seviyede tutulması gerektiği belirlenmiştir. Titanyum içeriğindeki %0,01-0,02 gibi küçük artışlar CGI takım ömrünü yaklaşık % 50 oranında azaltır. Titanyum mümkün olduğunca düşük tutulmalıdır, ideal% 0.01 altındadır.

Gri dökme demirin işlenmesinde elde edilen takım ömrünün CGI'ya göre daha yüksek olduğu görülmüştür. CGI malzemesinin frezelenerek işlenmesinde, kesici ağız sayısının artması ile takım ömrünün arttığı belirlenmiştir [10].

Gri dökme demirde bulunan mangan sülfür (MnS), kesici kenar üzerinde koruyucu bir tabaka oluşumuna yol açar. Kesme hızı arttıkça bu katman daha büyük ve daha yoğun hale gelir ve kesici takım ömrünün artmasına neden olduğu ortaya atılmıştır. CGI üretimi sırasında magnezyum eklenmesi nispeten sert ve aşındırıcı magnezyum sülfat (MGS) oluşumuna sebep olur. Sonuç olarak, CGI işleme esnasında herhangi bir koruyucu tabaka meydana gelmez. Bu olay, yüksek hızlı sürekli kesme işlemleri sırasında CGI ve gri demir için takım ömrü arasında gözlenen farkın sebebi olduğu belirtilmiştir.

CGI malzemelerin işlenmesinde en uygun kesici takımların PCD'ler olduğu görülmüştür. Kaba taneli PCD'lerin ince tanelilere göre yüksek ısı iletkenliğinin daha fazla olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, karbür kesiciler ile daha düşük emülsiyonlu soğutucu kullanarak elde edilen takım ömürlerine karşın PCD kullanılarak Cryogenic CO<sub>2</sub> soğutma ile elde edilen takım ömürlerinin %100'den daha fazla olduğu ortaya çıkmıştır [11].

Mikro yapı olarak Perlitik, Ferritik ve Perlitik+Ferritik olan vermiküler grafitli dökme demirlerin işlenebilirliğinde, esas kesme kuvveti ve yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi kesme hızının 210 m/dak ve en iyi ilerleme miktarı 0,20 mm/dev olduğu belirlenmiştir. Mikro yapı olarak ise iyi pürüzlülüğü perlitik CGI'yi elde edildiği tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili parametrelerin sırasıyla ilerleme miktarı ve kesme hızı olduğu yapılan ANOVA analizleri ile ortaya çıkmıştır. [12,13].

CGI işlenmesinde takım maliyetinin önemli bir yer tuttuğu belirtilmiş, kuru çalışma koşullarında ve düşük hızlarda kullanılacak en iyi takımın sermet takımların olduğu ifade edilmiştir. Yüksek kesme hızlarında ise kaplamalı karbür kullanılmasının daha uygun olacağı ileri sürülmüştür.

Düşük kesme hızlarında MQL yönetimi ile yapılan soğutma koşulları altında yapılan deneylerde, Sermet, kaplamalı karbür ve seramik kesici takım tipleri ile elde edilen kesme kuvvetleri birbirine yakın ve talaş yapışması az olurken yüksek kesme hızlarında ise bu durumun değiştiği tespit edilmiştir. [15].

Cryogenic CO<sub>2</sub>'ye yağ ilave edilerek yapılan soğutma yönteminin sadece CO<sub>2</sub>'ye göre %100 daha fazla ısıyı uzaklaştırdığı görülmüştür. Yapılan deneylerde 200 C°'de CO<sub>2</sub> ile soğutmanın MQL soğutma yöntemlerinden daha iyi soğuttuğu görülmüştür. Yağ püskürterek soğutma ve azot püskürterek soğutma yönteminden elde edilen sonuçlar diğer yöntemlere göre soğutma yönünden daha az etkili olduğu tespit edilmiştir [17].

Takım ömrüne yönelik yapılan incelemelerde, 600 m/dak kesme hızında işlenmesi en zor malzemenin CGI olduğu, 800m/dak ve 1000m/dak kesme hızlarında işlenmesi en zor olan malzemenin ise gri dökme demir olduğu ileri sürülmüştür. Takım ömrü için belirleyici rol üstlenen aşınma türünün yan kenar aşınması olduğu ortaya çıkmıştır. Genel olarak da takım aşınmalarında, düşük kesme hızlarında yapışma aşınması, yüksek kesme hızlarında ise difüzyon ve oksidasyon aşınmaları türleri gözlenmiştir [5].

CGI malzemesinin geliştirilmesine yönelik elde edilen türleri olan: CGI A, CGI B, CGI C, CGI D için yapılan işlenebilirlik çalışmaları karşılaştırıldığında, artan perlit yüzdesine göre işlenebilirliğin düştüğü

belirlenmiştir. Yüksek miktarda perlit ve sertlik gibi faktörlerin gerekli olmadığı yerlerde (örneğin, motor başları) CGI C sınıfının kullanılması önerilmektedir. CGI C mekanik mukavemeti CGI D'den daha düşük olduğu ancak düşük perlit içeriğine bağlı olarak çok daha yüksek işlenebilirliğe sahip olduğu ifade edilmiştir. Karşılaştırılan, CGI türleri arasında motor blokları, üretimi için en uygun olan CGI D olduğu belirlenmiştir [7].

Delik delme deneyleri sonucunda, CGI'nin delinebilirliğinin gri dökme demire göre daha zor olduğu belirlenmiştir. Elde edilen yüksek kesme kuvvetleri ve takım aşınmaları bu durumu ispat etmektedir. Gri dökme demirin kükürt (S) temel katkı maddesinin, delme işlemi sırasında iş parçası ve takım yüzeyinde koruyucu bir yağlama tabakası oluşturduğu tespit edilmiştir. Kullanılan takımın SEM / EDX analizleri ile takım yüzeyi üzerinde yüksek miktarda kükürt bileşiği (sülfür) olduğunu göstermiştir. [8]. Fakat, CGI'nin işlenmesinde bu durum meydana gelmediğinden kesici takım daha kolay aşındığı belirtilmiştir. CGI'nin işlenmesinde kullanılan soğutma sıvılarına kükürt eklenmesinin kesme kuvvetlerini ve takım aşınmalarını azaltıcı etkisi olacağı ifade edilmiştir.

Varyans (Anova) analizi ile incelenen faktörlerin, çıktı değerlerini ne ölçüde etkilediği farklı seviyelerinin nasıl bir değişkenliğe yol açtığı tespit edilmiştir. Delme hızı ile pürüzlülük değerinin doğru orantılı olduğu görülmüştür [1].

Çizelge 5'te incelenen yayınlardan çıkarılan bilgilerin tasnif edilmiş hali verilmiştir.





#### 4. Sonuç ve Öneriler

Gri dökme demirden daha mukavim, daha iyi ısı iletkenliği büzülmeye karşı mükemmel direnç ve sfero (küresel grafitli) dökme demire göre çok daha iyi ısıl yorulma direnci gibi eşsiz özelliklere sahip olması CGI malzemesini öne çıkarmaktadır. Fakat, otomotiv sanayisinde yaygın olarak kullanılan gri ve küresel dökme demirin işlenebilirliği ile karşılaştırıldığında CGI'nin işlenebilirliğinin daha düşük olması, özellikle otomotiv sanayisinde kullanımını geciktirmiştir. CGI'nin işlenebilirliğinin iyileştirilmesine yönelik son yıllarda elde edilen olumlu sonuçlar, bu malzemeye olan ilgiyi arttırmıştır.

Yapılan çalışmaların incelemesi sonucunda, normal bir dökme demirde (gri) bulunan mangan sülfür'ün (MnS) işlenebilirlik sırasında kesici uçların üzerinde koruyucu bir katman oluşturduğu tespit edilmiştir. Kesme hızı arttıkça da bu katmanın daha büyük ve daha yoğun hale gelerek kesici ömrünün artmasına neden olduğu anlaşılmıştır. Fakat, CGI malzemesinin işlenmesi esnasında herhangi bir koruyucu katmanın meydana gelmediği belirlenmiştir. Bu durumun da yüksek kesme hızlarında ve sürekli (duraksama olmadan) yapılan kesme işlemleri sırasında CGI malzemelerinde daha düşük takım ömrü elde edilmesine sebep olduğu ortaya çıkmıştır.

Kullanılacak kesme sıvısına kükürt bazlı katkı maddeleri kullanarak kesme kuvvetleri ve takım aşınmasının azaltılabileceği ön görülmüştür.

CGI malzemesinin işlenmesinde, kuru kesme şartlarında düşük kesme hızları ile çalışılmasının, yüksek kesme hızları ile çalışılması durumunda ise sulu kesme şartlarının daha uzun takım ömrü verdiği anlaşılmıştır. Sulu kesme şartları ile yapılan deneylerde, en iyi takım ömrü sonuçlarını sırası ile Cryogenic, MQL ve diğer yöntemlerin vereceği belirlenmiştir. Bununla birlikte, CGI malzemesinin işlenmesi sırasında kesici uça oluşabilecek talaş yapışmasının MQL yöntemi ile azaldığı anlaşılmıştır.

CGI işlemlerinde takım maliyetinde önemli bir yer tutmaktadır. Kuru çalışma koşullarında düşük kesme hızlarında kullanılacak en iyi kesicilerin cermet, yüksek kesme hızlarında ise kaplamalı karbürler olduğu belirlenmiştir.

En iyi yüzey pürüzlülüğü Perlitik vermiküler grafitli dökme demirlerde gözlenmiştir. Aynı zamanda en iyi yüzey pürüzlülüğü en yüksek kesme hızlarında görülmüştür.

CGI malzemesinin işlenmesinde alınacak olan kesme hızı aralıklarının kullanılacak olan işleme yöntemine göre farklı olacağı anlaşılmıştır. İşleme yönteminin tornalama veya frezeleme olması durumunda, kesme hızlarının birbirine yakın ve yüksek, matkapla delik delme olması durumunda düşük ve raybalama olması durumunda ise daha düşük alındığı görülmüştür. Yapılan çalışmalarda, CGI malzemesinin kaplamalı karbür kesicilerle sulu kesme şartlarında, tornalamasında ve frezelemesinde kesme hızı aralığı 150-250 m/dak alınırken, karbür matkaplarla delinmesinde 80-100 m/dak, karbür matkaplarla raybalanmasında ise 40-50 m/dak kadar düşmüştür. Dolayısı ile CGI malzemesinin işlenebilirliğinde en sıkıntılı yöntemlerin delik delme ve raybalama olduğu ortaya çıkmaktadır.

CGI malzemesinin işlenebilirliğine yönelik olan çalışmalar az ve yeni olduğu için, bu malzemeye yönelik değişik çalışmalar yapılabilir. Farklı işleme yöntemleri (kesme, delik büyütme, tel erozyon, elektro erozyon, vb.) denenebilir. Farklı kesme sıvıları ile işlenebilirlik çalışmaları yapılabilir.

## Kaynaklar

- [1] Ertan, T., Compacted Graphite Iron (CGI) Malzemesinin İşlenebilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gebze İleri teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 2008.
- [2] Secomax PCBN Technical Guide, 2003, 69-70.
- [3] Metal İşleme Ürünleri Katoloğu, Sandvik Coromant, İstanbul, H-29, 2012.
- [4] Rosa, S, Diniz, A, Andrade, C, Guesser, W., Analysis of Tool Wear, Surface Roughness and Cutting Power in the Turning Process of Compact Graphite Irons with Different Titanium Content, J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng, Vol. XXXII, No. 3, July 2010, 234-240
- [5] Silva, M, Naves, V, Melo, J, Andrade, C, Guesser, W., Analysis of wear of cemented carbide cutting tools during milling operation of gray iron and compacted graphite iron, Wear 27, 2011, 2426-2432
- [6] Oliveira, V, Beltrao, C, Pintaude, C., Effect of tool geometry on the wear of cemented carbide coated with TiAlN during drilling of compacted graphite iron, Wear 271, 2011, 2561-2569
- [7] Mocellin, F, Melleras, E, Guesser, W, Boehs, L., Study of the Machinability of Compacted Graphite Iron for Drilling Process, J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng., Vol. XXVI (1), 2004, 22-27
- [8] Evans, R, Hoogendoorn, R, Platt, E., Lubrication & Machining of Compacted Graphite Iron, Quaker Chemical Corporation, Metalworking Division Laboratory, July 2011, 1-7
- [9] Rosa, S, Diniz, A, Andrade, C, Guesser, W., Analysis of Tool Wear Surface Roughness and Cutting Power in the Turning Process of Compact Graphite Irons with Different Titanium Content, J. of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng, Vol. XXXII (3), 2010, 234-240
- [10] Dawson, S, Hollinger, I, Robbins, M, Daeth, J, Reuter, U, Schulz, H., The Effect of Metallurgical Variables on the Machinability of Compacted Graphite Iron, Society of Automotive Engineers, 01-0409, 2001.
- [11] Abele, E, Schramm, B., Using PCD for machining CGI with a CO2 coolant system, German Academic Society for Production Engineering, 10.1007/ s11740-008-0104-6, 2008.
- [12] Mavi, A, Korkut, İ., Vermiküler Grafitli Dökme Demirlerin İşlenmesinde Kesme Parametrelerinin Kesme Kuvvetleri ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Regresyon Analizi ile Modellenmesi, Politeknik Dergisi, 13 (4), 2010, 281-286.
- [13] Mavi, A., Vermiküler Grafitli Dökme Demirlerin İşlenebilirliğinin Deneysel Olarak Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2008, 46-67.
- [14] Skvarenina, S, Shin, Y., Laser-assisted machining of compacted graphite iron, International Journal of Machine Tools & Manufacture, 46, 2006, 7-17
- [15] Varghese, K., Machining of Compacted Graphite Iron (CGI) and Spheroidal Graphite Iron (SGI): A Fundamental Study of Tribological issues and progressive cutting tool wear, Doctor of Philosophy, The University Of Utah Graduate School, 2008, 54-87

[16] Varghese, K, Balaji, A., Effects of Tool Material, Tool Topography and Minimal Quantity Lubrication (MQL) on Machining Performance of Compacted Graphite Iron (CGI), International Journal of Cast Metals Research, 20 (6), 2007, 347–358.

[17] Clarens , A, Park Y, Temme , J, Hayes, K, Zhao ,F, Skerlos , S., Evaluation Of Cooling Potential And Tool Life In Turning Using Metalworking Fluids Delivered In Supercritical Carbon Dioxide, International Manufacturing Science and Engineering Conference, MSEC2009-84740, October 2009.