

# SÜRDÜRÜLEBİLİR ÜRETİM

## Yılmaz YILDIRIM

MMO Ankara Şube Tasarım ve İmalat Komisyonu Üyesi,  
Aydın Yazılım ve Elektronik Sanayi A.Ş., Üretim Mühendisi  
yilmaz.yildirim@mmo.org.tr

**S**ürdürülebilir üretim çevresel, sosyal ve ekonomik açılardan değerlendirilirken ham malzemenin cevherden çıkarılışından son ürün haline gelinceye kadar ürünün ekonomik ömrü boyunca kamu sağlığı, refahı ve çevreye etkisine olumsuz etkisinin en aza indirildiği üretim çerçevesidir. Sürdürülebilir ürünler tüm ömürleri boyunca doğa ile dost olarak tanımlanabilirler. Sürdürülebilir ürünler tasarlamak ve üretmek karmaşık, disiplinlerarası yaklaşımlar ve çözümler istediğinden sanayi için zor bir süreçtir. Bugüne kadar yapılan çoğu araştırma ve çalışma çevresel açıdan olayı incelemiştir. Sürdürülebilir ürünler finansal açıdan kârlı ürünlere karşılık gelebilir. Bunun nedeni üretiminin daha ucuz olması, çok az yasa ve/veya yönetmelikten etkilenmesi, satışa hızlı sunulması ve tüketiciler tarafından tercih edilmesidir. Çevresel faktörler dikkate alınarak yapılan ürün tasarımı, girdi maliyetlerini aşağıya çekerken, ürünün kullanım ömrünü artırarak (belki de 2. ya da 3. ömür döngüsü sağlayarak) ürünü kârlı hale getirebilir. Ürün tasarımı, örneğin ürünün imalatında ne kadar CO<sub>2</sub> salımının olduğunu ya da hangi temiz imalat sistemlerinin kullanıldığını cevapladığı süreçte başarılı ve sürdürülebilir olacaktır.

Birden çok kullanım süresi sağlamak amacını güden “geri dönüşüm, yeniden kullanım, yeniden üretim” düşüncesi, mühendislik malzemelerinin, imalat işlemleri ve sistemleri ile yaratıcı bir şekilde birleşmesiyle mümkündür. Bir

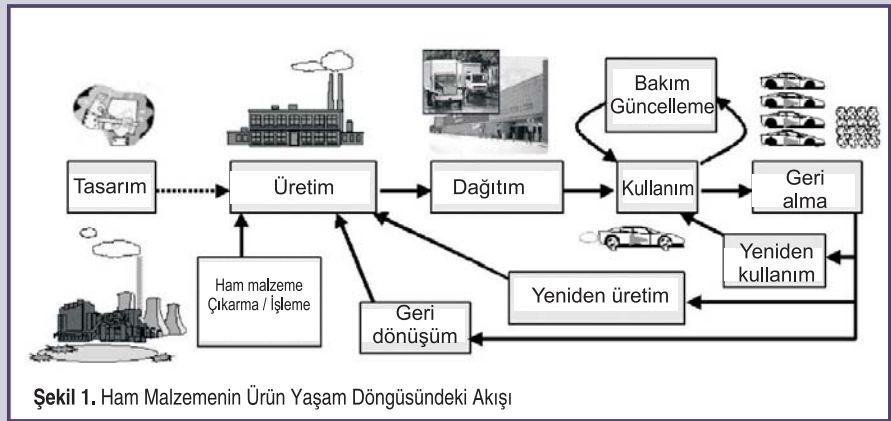
anlamda “beşikten mezara” anlayışı yerini “beşikten beşiğe” anlayışına bırakmakta ve imalat dünyasında olgunlaşma sürecini yaşamaktadır. Bu farkındalığa ek olarak eko-verimlilik ve çevresel konular; havaya, toprağa ve suya zehirli madde karışmasını, kullanışsız atığı ve imalatın her seviyesinde enerji tüketimini en aza indirmek için gerekli olmaktadır. Burada önemli olan bir diğer konu da tüketici baskısının imalat sanayinin dönüşümünü hızlandıracağından tüketicinin sürdürülebilir üretim konusunda eğitilmesi ve daha “temiz” ürünleri tercih etmesini sağlamaktır. Mühendisler ise ürün süreçlerinde geleneksel işlevsellik, maliyet, performans ve satışa sürüm süresi anlayış ve çalışma tarzlarının yanına sürdürülebilirlik anlayışını eklemek durumundalar.

Mühendislerin enerji tüketiminin azalması, atıksız/minimum atıklı imalat işlemleri, daha az malzeme kullanımı ve kullanım ömrü biten ürünün ham

malzemesini tekrar kullanma alanlarında düşünmeye başlamaları gerekiyor. Bu alanlarda yenilikçi teknolojilerin, üretim araçlarının ve metodlarının gelişim sürecinin maliyetinin karşılanması ile hedeflere ulaşılabilir. Geleceğin mühendisleri, mesleklerinin ilk yıllarına girerken, ürün hakkında kamu görüşü, çevresel göstergeler ve yaşam döngüsü tasarımı eğitimi almış olmalıdır.

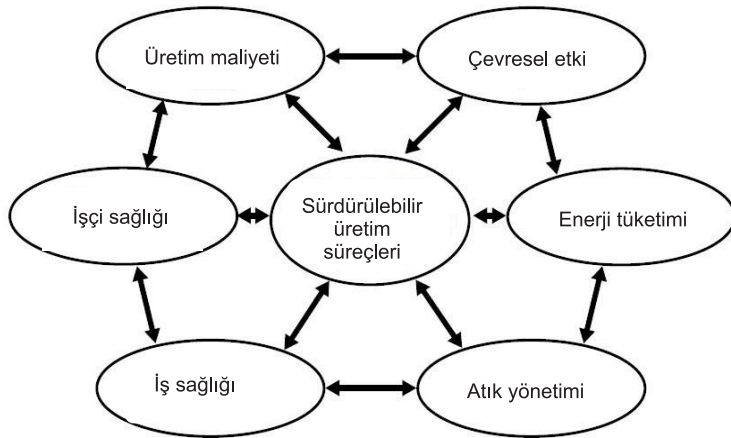
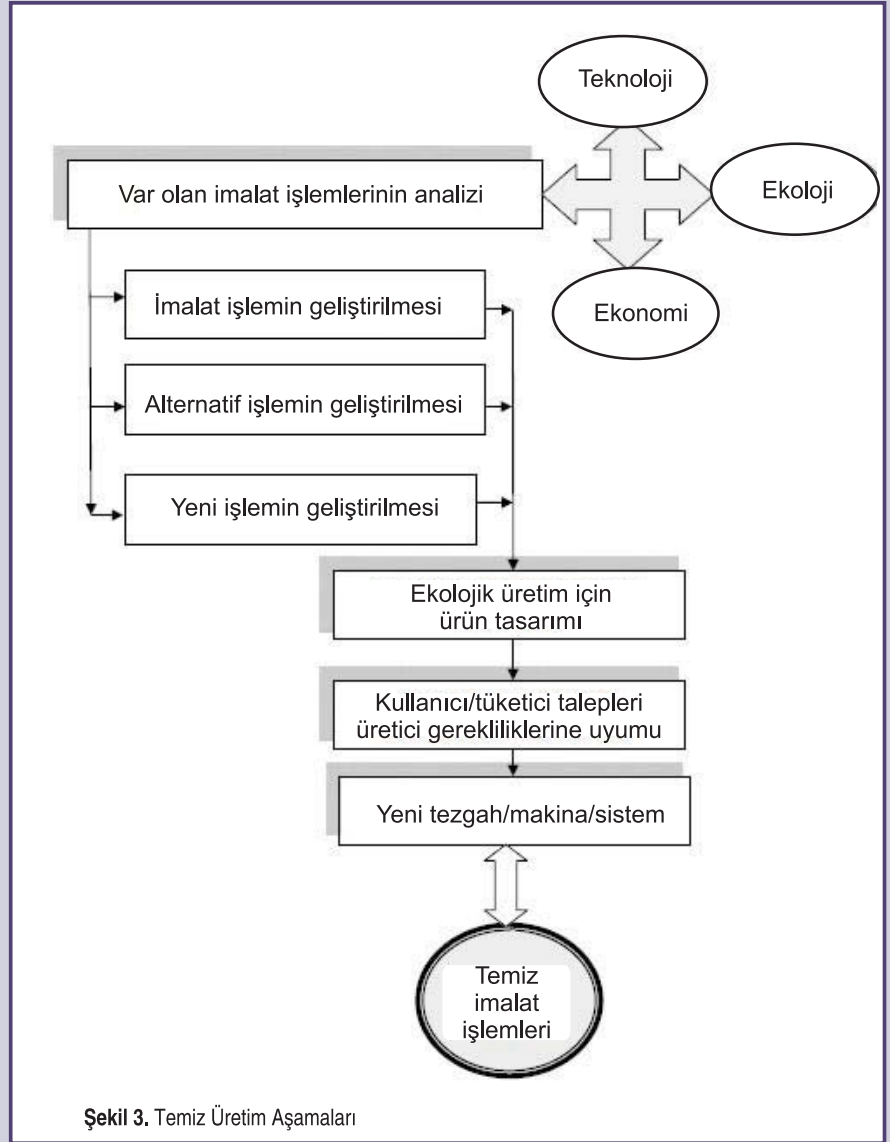
İlk bakışta çevre dostu ürünler tasarlamak ve üretmek maliyetleri yükseltecek gibi gözükse de çevresel ve toplumsal etkiler düşünüldüğünde maliyet daha düşük olmaktadır. Sürdürülebilirlik bilimi kaçınılmaz bir biçimde önümüzde durmaktadır. Özellikle elektronik, otomotiv, biyomedikal ve ilaç sanayindeki sürdürülebilirlik çalışmalarının toplumsal etkileri olumlu olacaktır.

İmalat operasyonlarında enerji tüketimini gerçek zamanlı izlemek ve değerlendirmek, verimlilik tablosunu da



Şekil 1. Ham Malzemenin Ürün Yaşam Döngüsündeki Akışı

ortaya koyacağından hesapların teorik yapılmasından daha iyidir. Makina zamanı, harcanan enerji, set-up zamanı ve harcanan enerji, taşıma için harcanan enerji değerleri sürdürülebilir ürün için en önemli etmenlerdendir. Birim zamanda harcanan enerjinin üretim zamanının azalması sayesinde parça başına yansımaları da azalacağından yalnız üretimle sürdürülebilirlik iç içe girmektedir. İmalat işlem etmenlerinin değişikliği nedeniyle aynı operasyonun iki farklı atölyede ya da iki farklı tezgahta işlenmesinde bile enerji tüketimi değişmektedir. Özellikle talaşlı imalat işlemlerinde soğutucu sıvıların, kesici takım uçlarının seçimi, kesme koşulları ve takım-iş parçası malzeme kombinasyonları üzerine yapılacak analiz enerji tüketiminin azaltılması için fırsatlar içermektedir. Bazı operasyonlar için tezgah seçiminin doğru yapılması enerji tüketimi açısından belirleyicidir; örneğin torna tezgahının yatay eksen hareketinde harcanan enerji, magazinli işleme merkezinde dikey eksen hareketinden daha azdır. İşleme merkezinin kafasının dikeyde farklı yüksekliklerde tutulması enerji tüketimini artırır. Sürdürülebilir üretimde sadece harcanan kWh önemli değildir; aynı zamanda enerjinin kaynağının da temiz olması, güneş ya da diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından olması beklenir.



Talaşlı imalat işlemlerinde sürdürülebilirlik faktörlerinin istenen seviyeleri şu şekildedir:

Enerji tüketimi, işleme maliyeti: Minimum, çevre dostu olma, operasyonel güvenlik, kişisel sağlık, atık azaltımı: Maksimum

Üretim maliyeti, ürünün, üretim planlama ve hazırlık aşamalarında, iş istasyonuna gelirken geçirdiği boş zaman, tezgah önünde bekleme zamanı, set-up zamanı ve işleme (makina) zamanı gibi maliyetlerden oluşur. Diğer zamanları bir kenara bırakıp işleme/operasyon zamanı ve takım

maliyetini imalat maliyeti olarak ele aldığımızda, operasyon zamanının kesme koşulları ve kesici takım seçimine bağlı olduğu açıktır. Bu seçimleri kolaylaştıran ve optimize eden yazılımlar mevcuttur. Özellikle KOBİ'lerde bu programların kullanımının artması verimliliği artıracaktır. Yine takım maliyetinin yanında önemli yer tutan soğutucu sıvı maliyeti, çevresel ve işçi sağlığına olumsuz etkileri nedeniyle ayrıca değerlendirilmelidir.

Tezgahtarların ve takımların, fişkürler ile birlikte optimum kullanımı da maliyeti azaltıcı faaliyetlerdir. Her firma kendi koşullarına has çözümler üzerine çalışmalar yaparak, maliyetleri azaltabilir. Örnek olarak, ortak fişkür kullanımı, talaşlı imalat sırasında yapılan set-up, kuru işleme vs. verilebilir. Özellikle zor geometri parçaların işlenmesinde kesim ölçüsüne yakın geometride ham malzeme siparişi, dolu malzemeye göre hafif yüksek olsa da talaşlı imalatla yarattığı kolaylık nedeniyle tercih edilmelidir. Bu sayede oluşacak talaş, harcanan enerji ve kullanılan kesme/soğutma sıvısı miktarı önemli oranda azalacaktır.

İşçi sağlığı ve iş sağlığı olarak ikiye ayrılabilir çalışma güvenliği konusu sürdürülebilir üretim kapsamı içine girer. Burada amaç, imalat operasyonu sırasında öngörülebilir kazaları insan/makina etkileşimi olabildiğince azaltarak sağlamaktır. İş sağlığı yönetmelikleri sıkı bir şekilde uygulanmalı, yine de riskli olan alanlarda özgün risk değerlendirme çalışmaları ile süreç işletilmelidir. Operatörlerin soğutma sıvılarının buhar ve gazlarından etkilenmelerinin nedeni, sıvıların içine imalat performansını artırma amaçlı eklenen yüksek miktardaki kimyasallardır. Zamanla bu sıvılar zararlı bakterilerin yaşaması için uygun bir ortam olurlar. Sıfır atık üretimi yanında atmosfere sıfır zararlı gaz yayımı ideal durum olmasına rağmen, bunu sağlayabilecek teknolojiye şu an sahip değiliz. Fakat amaç olabildiğince sıfıra yaklaşmaktır. Örneğin bazı kesme sıvıları atık

aşamasından önce biyolojik olarak bozunabilir imkânına sahiptir. Sıvıların, iş parçası talaşlarının biriktirilip atıldığı alanlar/kutular, varillerin ise bakteri kaynağı olabileceği bilinmeli ve önlem alınmalıdır.

**Çevresel etkileri azaltacak çeşitli öneriler şunlardır:**

1. Her firmanın kendine özgün bir çevre politikası olmalıdır. Bu politika:
  - Havaya, suya veya toprağa, gaz, sıvı, atık salınımı azaltmayı,
  - İmalat operasyonları ile ilgili yasal sınırlandırmalara uymayı,
  - Kirliliği önlemeyi,
  - Enerjiyi verimli kullanmayı,
  - Doğal kaynakların kullanılmasını azaltmayı amaçlamalıdır.
2. ISO 14001 gibi çevre yönetim sistemleri devreye alınmalıdır.
3. Çevre ile ilgili hedefler belirlenmelidir.
4. Hedefler gözlenmeli ve ara değerlendirmeler ile sonlandırılmalıdır.
5. İşçiler yaptıkları işlerin, kendilerine ve çevreye etkileri hakkında bilinçlendirilmelidir.

**Kesme sıvılarının temel fonksiyonları:**

- Kesici takımın ve iş parçasının soğutulması
- Takım ile parça arasındaki sürtünmeyi azaltmak
- Talaşları kesme bölgesinden uzaklaştırmak
- Toksik ve yanıcı olmayan, dumansız güvenli bir çalışma ortamı oluşturmak olarak sıralanabilir.

Kesme/soğutma sıvılarının satın alınması, taşınması, saklanması ve atık yönetimi süreci maliyetlerini de eklediğimizde maliyeti takım parasını geçmektedir. Kesme sıvılarının atık süreci, sıvının bıraktığı izlerin silinmesi için parçaların ayrıca bir kimyasal

temizleme işlemine sokulması, çevreyi ve çalışanların sağlığını tehlikeye sokabilmektedir. Kesme sıvılarının atölyeden dikkatsiz ve özensiz uzaklaştırılması çevrenin kirlenmesine neden olmakta, çıkan gazlar ise işçi sağlığı açısından olumsuz etkiler yaratabilmektedir. Son yıllarda uygulaması artan kuru işleme tekniğinin özellikle torna operasyonlarında kullanılması uygun olur. Delik işlemleri için kuru işleme tekniğinin uygulanması uygun değildir. Başlangıçta kuru kesim, takım maliyetini ve aşınmadan kaynaklı yıpranmasını artırmasına rağmen, kesici sıvıların maliyetinin önemli oranda düşmesi nedeniyle tercih edilmelidir. Kuru işlemenin ekolojik ve ekonomik faydaları nedeniyle sürdürülebilir üretimde önemli rolü olacaktır. Bu kesim için CBN, karbür, seramik ve çok katmanlı kaplama takımlar kullanılmalıdır. Bu takımlar soğutma sıvısı kullanılmadan da tatmin edici sonuçlar verirler. Daha maliyetli olmalarına karşın yüksek hızlarda ve derin pasolarla kesim yapabilirler. Freze operasyonları içinse normalden onlarca kat daha az miktarda sıvı kullanımı yeterli olacaktır. Kesme sıvısına gerek kalmadan, sıvı nitrojen kullanarak yapılan soğutma tekniklerinde ileride imalat süreçlerinde yaygınlaşma potansiyeli vardır. Aynı şekilde iyonize basınçlı havanın soğutucu ve yağlayıcı özelliğinin talaşlı imalatla kullanılması için çalışmalar devam etmektedir.

Daha yaşanılabilir bir dünya için üretim sistemlerinin, çevreyi insan hayatını düşünerek güncellenmesi gerekmektedir. Başta maliyetli görünen bu gereklilik, geniş anlamda konu değerlendirildiğinde hem çevreye hem de insan yaşamının kalitesine olumlu dönüşler sağlayacaktır.

## KAYNAKÇA

1. **Jawahir, S., Wanigarathne, P. C., Wang, X.** Edited by Myer Kutz. 2006. Mechanical Engineer's Handbook 3rd Ed. Manufacturing and Management, John Wiley&Sons, p. 414-439
2. **Helmi, A., Youssef, Hassan El-Hofy.** 2008. Machining Technology Machine Tools and Operations, CRC Press, p. 495-524