

HASAT ARTIKLARI TEDARİK ZİNCİRİNE YÖNELİK SİSTEM TASARIMI

Mehmet EKER¹, H. Oğuz ÇOBAN¹, Hasan ALKAN¹

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, 32260 Isparta,
meker@orman.sdu.edu.tr, hoguzc@orman.ssdu.edu.tr, hasanalkan@orman.sdu.edu.tr

ÖZET

Biyokütle kaynaklarından biri olan hasat artıklarının değerlendirilebilmesi; envanter, elde edim ve yararlanma süreçlerini içermektedir. Bu çalışmada elde edim aşaması konu edilmekte olup hasat artıklarının toplanması, biriktirilmesi, bölmeden çıkarılması, yol kenarında elleçlenmesi, yongalanması, taşınması, depolanması, vb. süreçleri içeren bir sistem yapısının kurgulanması amaçlanmıştır. Uluslar arası literatür bilgileri ve Türkiye’deki denemeler; hasat artıklarının kullanılmasında maliyetleri ortaya çıkaran unsurların elde edim aşamasında odaklandığını göstermiştir. Bu bakımdan hasat artıkları transport lojistik sisteminin oluşturulması gerekmektedir. Bu çalışmada bu sistemin kavramsal çerçevesi tanıtılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyokütle, hasat artıkları, tedarik zinciri, transport lojistiği

SYSTEM IMAGINING FOR SUPPLY CHAIN OF LOGGING RESIDUES

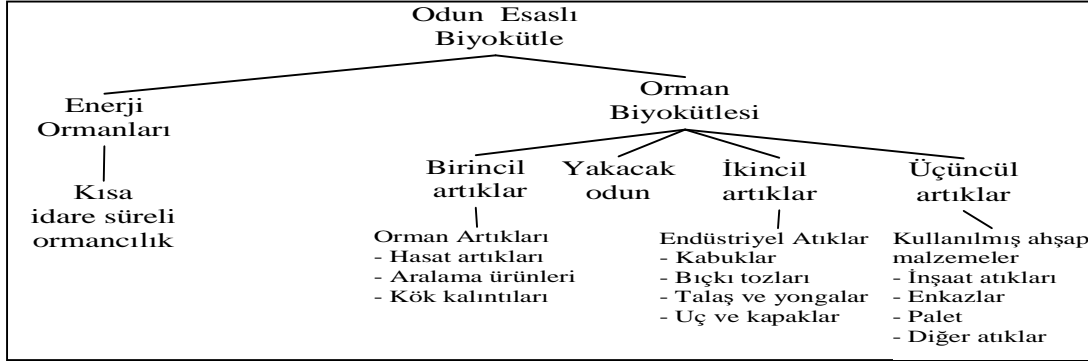
ABSTRACT

Evaluation of logging residues one of the sources of forest biomass, includes inventory, procurement, and utilization processes. In this study, the procurement process of logging residues was treated. It was aimed to set up a system imagining for supply chain of residuals, which consist of collecting, accumulating, extracting, handling, chipping, hauling and stocking sub-process. International literatures and experiment carried out in Turkish forestry displayed that the cost components of residuals supply chain focused on procurement phase. Therefore, it is necessary a transportation logistics system for logging residues in supply chain management concept. This study indicated the conceptual framework of the envisaged system.

Key words: Biomass, logging residues, supply chain, transportation logistics

1. GİRİŞ

Yenilenebilir doğal kaynakların tükenişi, küresel iklim değişikliği, karbon devinimi ve sürdürülebilir kalkınma gibi çeşitli faktörlerden dolayı fosil yakıtlara ve petrol ürünlerine olan bağımlılığın azaltılması açısından orman biyokütlesi kullanımı gittikçe önem kazanmaktadır. Orman biyokütlesi; ağaç başta olmak üzere ağaççık, çalı, ot gibi orman bileşenlerini ve bunlara ait tüm atık biyokütleyi de içine almaktadır. Hasat artıkları biyokütle kaynaklarının bir bileşenidir. Odun hammaddesi üretimi faaliyetleri sonucunda endüstriyel katma değeri düşük olduğu için değerlendirilemeyerek ormanda bırakılan tomruk, sanayi odunu yada yakacak odunların kök, dip kütüğü, gövde ucu, tepe ve yan dallardan ince olanları ile devirme ve taşıma sırasında parçalanan emval, kozalaklar, kabuklar ve ibreler, “orman artığı”, “üretim artığı”, “kesim artığı”, “hasat artığı” gibi terimlerle adlandırılmaktadır (Şekil 1) (Röser vd., 2008; Eker vd., 2009).



Şekil 1. Odun esaslı biyokütle kaynaklarının sınıflandırılması (Röser vd., 2008)

Hasat artıkları; diğer orman biyokütlesi gibi enerji kaynağı olarak doğrudan veya gaz-likit-katı yakıt olarak ısı ve elektrik üretiminde, yonga-levha endüstrisinde, hayvan yemi üretiminde, kimyasal ve gübre yapımında, kozmetik endüstrisinde, v.b. çeşitli alanlarda kullanılabilir (Ateş vd., 2007). Arazi yapısı, odun hammaddesi üretim sistemi, ağaç türü, teknoloji yetersizliği, işgücü, vb. faktörler hasat artıklarının tedarik maliyetlerini arttırdığından son zamanlara kadar ormanda bırakılmak zorunda kalmıştır (Acar vd., 2001; Saraçoğlu, 2006).

Hasat artıklarının değerlendirilemeyip ormanda bırakılması sonucunda; özellikle yangına hassas bölgelerde orman tabanındaki yanıcı madde yoğunluğu ve yangın riski artmakta, kabuk böceği zararları ve gençleşme engeli oluşabilmektedir.

Hasat artıkları; yenilenebilir ve ticari mal olma özelliğine sahip bir hammadde kaynağı olması, özellikle kırsal kalkınma açısından iş imkanları ve istihdam sağlayabilmesi, atıl malzemelerin kullanılarak ekonomik değer üretilmesi ve endüstri kuruluşları ve orman köylüleri için enerji kaynağı olarak kendi kendine yeterliliği sağlayabilmesi açısından da avantajlar sunabilme potansiyeline sahiptir. Nitekim küresel iklim değişikliği ile mücadele kapsamında, karbon salımını azaltarak çevreci ve temiz enerji üretimini ve kullanımını dikte eden uluslar arası sözleşmeler biyokütle kullanımını teşvik etmektedir.

Hasat artıklarının yeni gelişen pazarı ve yararlanma imkanları ormancılık üretim sisteminde ve ormancılık felsefelerinde bazı yeniliklerin yapılmasını gerektirmektedir. Örneğin, enerji üretmek amacıyla özellikle atıl durumdaki hasat artıkları, vb. biyokütle kaynağından yararlanabilmek için bir tedarik sisteminin kurulu olması gerekmektedir. Ormancılığı gelişmiş ülkelerde hasat artıklarının toplanması, biriktirilmesi, elleçlenmesi, yongalanması ve transportu, odun hammaddesi tedarik zinciri yönetimi çerçevesinde sistematik şekilde yürütülmektedir (Spinelli ve Hartsough, 2001; Yoshioka vd., 2002; Hakkila, 2006; Kanzian, 2009). Ülkemiz araştırma-geliştirme çalışmalarına devam etmekle birlikte orman biyokütlesinden yararlanmak amacıyla ormancılık stratejilerini ve uygulamalarını geliştirme konusunda ilerleme kaydetmiştir (OGM, 2009).

Genellikle, enerji sağlamak için hasat artıklarının kullanımı şu üç faktör tarafından sınırlandırılmaktadır: (1) Elde edinim, (2) Yakma teknolojileri, (3) Ormana verilen etkiler konusunda bilgi eksikliği (Hacker, 2005). Elde edinim maliyetleri, biyokütle kullanımında toplam maliyetler içinde en yüksek paya sahiptir. Fosil yakıtlara kıyasla da bu aşama daha pahalıdır ve bunun nedeni lojistik maliyetlerinin yüksekliğine bağlıdır (Allen vd., 1998). Hasat artıklarının da dahil olduğu biyokütle tedarik zinciri farklı etkinliklerden oluşmaktadır. Hasat, toplama, biriktirme, bölmeden çıkarma, yol kenarında biriktirme, yükleme, taşıma, boşaltma ve yararlanma sürecine ilişkin işlemlerle birlikte, yongalama işlemi de sürece

katılmaktadır. Ancak dönüştürme (pellet, briket yapımı vb.) ve kullanma süreci bu sisteme dahil edilmemiştir. Buna rağmen toplam dağıtım maliyetleri içinde lojistik maliyetler önemli bir ağırlığa sahiptir (FAO, 2009).

Bu bakımdan, Türkiye ormancılığında hasat artıklarının değerlendirilmesi amaçlanıyorsa geleneksel odun hammaddesi üretim sisteminin gözden geçirilmesi ve değişiklikler yapılması gerekebilir. Bu çalışmada, bu yeni sistemin yapılması hakkında bilgi verilerek önerilerde bulunulmuştur.

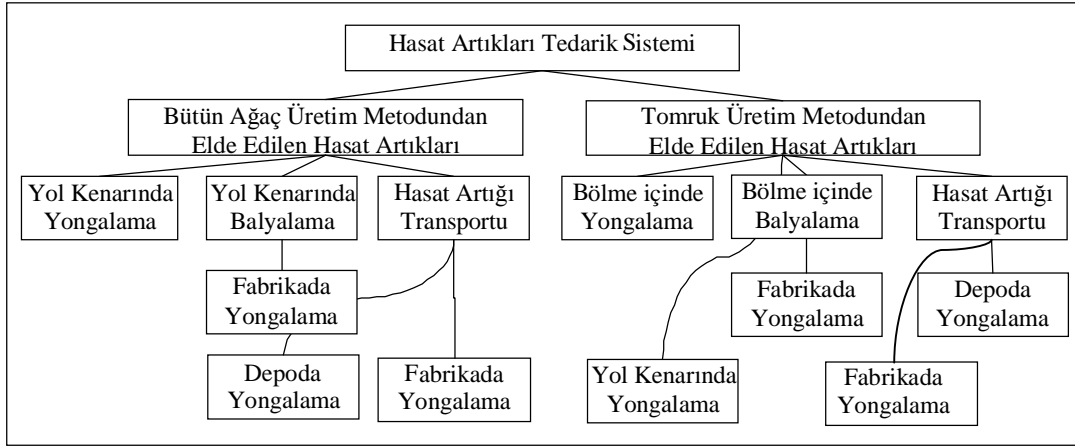
2. HASAT ARTIKLARI TEDARİK SİSTEMİ

Biyolojik üretimin ardından gerçekleştirilen odun hammaddesi hasadı artıklarının, bakım ve aralama kesimlerinden çıkan ince çaplı materyalin, böcek kar ve rüzgar devriklerinin ve diğer odunsu materyalin orman içinde toplanması (işlenmesi), yol kenarına getirilmesi ve biriktirilmesi (gerekirse işlenmesi), yüklenerek depolara yada işleme merkezlerine taşınması (burada işlenmesi) ve enerji üretim tesislerinin veya sistemlerinin ihtiyaç duyacağı hale dönüştürülmesi sürecindeki iş ve işlemler dizini tedarik zinciri veya elde edinim sistemi olarak tarif edilebilir.

Enerji elde etmek ve yonga levha gibi endüstriyel amaçlarla kullanmak için hasat artıklarının ve diğer orman biyokütlesinin; düşük maliyetler, düşük enerji sarfiyatı, düşük CO₂ salımı, yüksek derecede istihdam sağlama kapasitesi vb. koşullarla elde edilmesi gerekmektedir. Birbiriyle çatışan bu gereklilikler, iyi bir yöneylem araştırması yapılmasını gerektirir. Bu bakımdan da iyi bir sistem kurgusu zorunlu hale gelmektedir. Orman artıklarından yararlanılmasına yönelik yapılandırılmış bir sistem tasarımı; hangi üretim teknolojilerinin kullanılacağı, hangi üretim metodunun seçileceği, işleme yönteminin hangi şekilde ve nerede olacağı, işlerin kimler tarafından yürütüleceği vb. konularının açığa kavuşturulmasını kapsamaktadır.

Hasat artıklarının biyoenerji ve endüstriyel hammadde kaynağı olarak kullanılabilirdiği ülkelerde, genellikle, odun hammaddesi üretiminin (ve/veya silvikültürel işlemin uygulanmasının) ardından hasat artıkları yongalanarak çeşitli amaçlar için kullanıma hazır hale getirilmektedir (Şekil 2) (Spinelli ve Hartsough, 2001; Yoshioka vd., 2002; Röser vd., 2008).

Hasat artıklarının büyük çoğunluğu geleneksel odun (hammaddesi) üretim faaliyetleri sonucu oluşmaktadır ve bağlı ürün yada yan ürün olarak nitelendirilebilir. Üretim metoduna (tomruk, bütün gövde, bütün ağaç metoduna (Erdaş, 1988; Grammel, 1988)) bağlı olarak hasat artıklarının bölmeden çıkarma maliyetleri, odun üretim sistemine dahil edilebilir. Yani tomruk metodunda; bölümlleme, kabuk soyma, dal alma, vb. işlemler bölme içinde yapıldığından hasat artıkları bölme içinde kalmaktadır ve yongalama için yol kenarına kadar taşıma maliyeti, tedarik zincirine ayrı bir maliyet bileşeni olarak eklenmektedir.



Şekil 2. Hasat Artıkları Tedarik Sistemi (Yongalama Yerine göre) (Stampfer ve Kanzian, 2006)

Hasat artıklarının elde edilmesinde karşılaşılan zorluk, orman biyokütlesinin enerji kaynağı olarak kullanılmasında güçlü bir engeldir (Hacker, 2005; Röser vd., 2008; OGM, 2009). Hasat artıkları, tomruk üretim süreci boyunca gerçekleştirilen faaliyetler sırasında meşcereye dağılmaktadır. Bu bakımdan, özellikle diğer enerji kaynakları ile kıyaslandığında, toplam maliyet, elde edim sürecinin ekonomik olmamasına yol açmaktadır. Gelişmiş ülkelerde, bu problemin aşılması için üretim metotları ve üretim teknolojileri değiştirilerek odun üretim sisteminde kullanılan mekanizasyon düzeyi artırılmıştır (Karha vd., 2009).

Hasat artıklarının tedarik sürecinde bazı çevresel riskler de ortaya çıkmaktadır. Özellikle yetişme ortamının kötü olduğu yerlerde bitki besin maddelerinin ormandan uzaklaştırılması yetişme ortamını daha da fakirleştirmektedir (Sterba, 2003; Hacker, 2005). Bu bakımdan, örneğin Finlandiya’da, genel kural olarak hasat artıklarının % 30’unun sahada bırakılması önerilmektedir (Hakkila, 2006). Muhtemel ekolojik etkilerin şiddeti, sahanın genel ekolojik karakteristiği yanında; uygulanacak üretim metoduna ve üretim teknolojisine bağlıdır.

Yongalama işleminin yapılacağı yer ve kullanılacak yongalama teknolojisi de hasat tedarik sisteminin yapısını değiştirebilmektedir. Kullanılacak yongalama makinesinin sistemdeki pozisyonu, taşınacak ürün tipini (hasat artığı, yonga, talaş, vb.) ve başkaca makine ekipmana gereksinim duyulup duyulmadığını belirlemektedir. Yongalamanın nerede yapılacağına bağlı olarak dört farklı sistem kurgusundan bahsedilebilir: (1) Bölme içinde yongalama, (2) Yol Kenarında/rampada yongalama, (3) Merkezi ünite/fabrikada yongalama, (4) Balyalama. Buna bağlı olarak da orman biyokütlesi; bütün ağaç, hasat artığı, preslenmiş balya ve yonga olarak taşınabilmektedir (Yoshioka vd., 2002).

2.1. Bölme İçinde Yongalama

Odun hammaddesi üretimin ardından bölme içine dağılmış durumda bulunan hasat artıkları; mobil (traktör tarafından çekilen), traktör veya traktör treylere monteli yada kamyonla monteli yongalama makineleri tarafından bölme içinde yongalanmaktadır. Topoğrafik koşullar, hektardaki yoğunluk, vb. teknik etkenlerle ekonomik ve ekolojik etkenler düşünülerek yongalama makinesi ya bölmenin içinde sürekli hareket ederek ya da bölme içinde sabit noktalarda durarak yongalama işlemi yapmaktadır. Bu süreç; toplama, yongalama, yongaları biriktirme alt süreçlerini kapsadığından hasat artığını toplayıcı ilave

araca/ekipmana ve yongaları yol kenarına taşıyıcı konteynere ihtiyaç olabilir. Yongalama makinesi seçimine bağlı olarak beslemenin elle yada makine ile yapılıp yapılmayacağına karar verilmektedir. Yol kenarına getirilen yongalar, taşıma maliyetleri gözetilerek kamyonlarla kullanım noktalarına taşınmaktadır (Eker vd., 2009).

Bu sistem, çoğunlukla tomruk üretim metodunun yapıldığı yada ince çaplı materyalin bölmeden çıkarma maliyetinin yüksek olduğu durumlarda uygulanmaktadır. Ancak, yongalama makinesinin bölme içine girecek olması ve yongaların yol kenarına taşınacak olması ekonomik ve ekolojik riskler oluşturmaktadır. Arazide yongalama adıyla da bilinen bu sistem, topoğrafik koşullardan etkilenir ve bu nedenle dağlık arazide uygulama olanakları kısıtlıdır. Ancak dağlık arazide kullanılmak istendiğinde, sürütme yolları yoğunluğunun yüksek olmasını gerektirmektedir (Talbot ve Suadcani, 2005). Bu sistemin avantajı; orman içinde yongalaması uygun görülen her tür orman biyokütlesinin olduğu yerde yongalanabilmesidir (Stampfer ve Kanzian, 2006). Ayrıca, hasat artıkları bölme dışına taşınmadığı için ibre, yaprak, sürgün vb. organik materyalin dökülerek orman içinde kalması sağlanabilir.

2.2. Yol Kenarında Yongalama

Hasat artıklarının yongalanmasına ilişkin en yaygın kullanılan yöntem yol kenarında yongalama ve yongaları taşımadır. Hem bütün ağaç üretim metodu hem de tomruk metodu için kullanılabilir. Ağaç kesildikten sonra herhangi bir işlem yapılmadan yol kenarına getirilir yada tomruklama işlemlerinin ardından hasat artıkları yol kenarına getirilip burada yongalanır. Eğer bütün ağaç metodu uygulanırsa hasat artıklarının bölmeden çıkarılması için ilave işlem gerekmez ve maliyet azaltılmış olur. Bu yüzden toplam maliyetler açısından daha ucuz olabilir. Kabuk vb. materyal orman içinde bırakılmadığından kabuk böceklerinin zararları açısından olumlu bir yöntem olmasına rağmen bitki besin maddelerinin bölme dışına çıkarılmasına neden olmaktadır. Eğer tomruk metodu uygulanırsa hasat artıklarının bölme içinde toplanıp yol kenarına taşınması için ilave maliyetler gerekmektedir. Besin maddelerinin taşınması yönünden bütün ağaç metoduyla aynı olumsuzluğa sahiptir. Yol kenarına getirilen bütün ağaçtan elde edilen ve/veya tomruk metodundan elde edilen hasat artıkları burada herhangi bir araca monteli yongalama makinesi tarafından yongalanmaktadır. Finlandiya' da odunsu biyokütle tedarikinin yıllık %70' i bu yolla gerçekleştirilmektedir (Junginger vd., 2005; Bradley, 2007). Yongaların yongalama makinesinden doğrudan kamyonlara yüklenmesi, sistemin etkinliğini arttırmaktadır (Kanzian vd., 2009).

Yol kenarında yongalama sistemlerinin kullanılabilirliği orman yollarının geometrik standartlarına da bağlıdır. Yol kenarında kamyonla doğrudan yongalama yapılabilmesi için yol kenarında uygun rampaların olması gereklidir. Aksi takdirde, önce yongalar yol kenarında biriktirilmeli, sonra kamyonlara yüklenerek taşınmalıdır. Ayrıca, hasat artıklarının nem içeriğinin azaltılması açısından kurutulması gerektiği için yol kenarı depolamaya uygun olmalıdır. Hasat artıklarının özellikle yaz aylarında hava kurusu hale getirilmesi nem içeriğini %19-%50 arasında azaltılmasını sağlamaktadır. Bu durumda, yükleme maliyetleri, sisteme dahil edileceğinden yöntem ekonomik olmayabilir. Ancak bölme içinden getirilen hasat artıkları yol kenarlarında merkezi biriktirme yerlerinde toplanıp yongalanabilir (Röser vd., 2008).

2.3. Depo ve Fabrikada Yongalama

Talaş yada yonga haline getirilmemiş (ufalanmamış) hasat artıkları, eğer bölme içinde yada yol kenarında işlenmeyecekse ya depolarda yada fabrika gibi merkezi

tesislerde yongalanıp işlenmektedir. Depolar; hasat artıklarının kısa mesafede taşınmasını, merkezi tesisler/fabrikalar ise uzun mesafe taşınmasını gerektirebilir. Her iki durumda da büyük çaplı, tesise monteli yada mobil yongalama makineleri kullanılabilir. Bu yöntem özellikle enerji üreten fabrikalar için uygundur. Bununla birlikte hasat artıklarının toplanması, bölmeden çıkarılması, taşınması maliyetleri toplam tedarik maliyetini arttırabilir (Junginger vd., 2005).

Bununla birlikte hasat artıklarının ara ve merkezi depo yerlerinde kurutulması yonganın faydalanma miktarını, yongalama makinesinin verimliliğini (% 50 oranında) ve kullanılabilirliğini arttırmaktadır. Depo yerlerinin ormana ve ana karayollarına da yakın olması yongaların biyoenerji ve endüstriyel amaçlı fiziksel dağıtımının istenen araçlarla yapılmasına fırsat sağlamaktadır (Stampfer ve Kanzian, 2006).

Yongalama işleminin fabrikalarda yapılması, yongalama ve taşıma işlemlerini birbirinden ayırır. Hasat artıkları hangi üretim metoduyla üretilirse üretilsin olduğu gibi doğrudan taşınır. Düşük yük kapasitesi (kaba hacimden dolayı çok yer kapladığından), bu sistemin dezavantajıdır. Ancak merkezi istasyonlarda kurulan yüksek kapasiteli yongalama makineleri her tür orman biyokütlesini yüksek verimle yongalayabilirler. Bu tür tesisler yüksek yatırım maliyetleri gerektirebilir (Hakkila, 2006; Leinonen, 2004).

2.4. Balyalama

Yongalama sisteminin merkezi depo yada fabrikalarda yapılması durumunda, hasat artıklarının balyalanıp taşınması imkanı da bulunmaktadır. Özel balyalama makineleri ile hasat artıkları toplanıp balyalanmakta ve böylece transport için yükleme hacmi ve yongalama sırasında da verimlilik arttırılmaktadır. Balyalama makinesi bir traktör treyler (forwarder) şasına veya kamyonu monte edilebilmekte ve orman içinde hareket edilerek balyalama yapılmaktadır. Ayrıca dağlık alanlar için orman yollarında ilerleyen ve traktör şasisine monte edilmiş balyalama makineleri ile yine orman içinde ilerleyen manuel beslemeli makinelerden yararlanılmaktadır (Cuchet vd., 2004; Leinonen, 2004; Johansson vd., 2006; Karha vd., 2009). Örneğin; İskandinav ülkelerinde balyalama teknolojisinin yaygın şekilde kullanıldığı, Finlandiya' da odunsu biyokütle tedarikinde %18 oranında balyalama yapıldığı ancak Avusturya ormancılığı için bunun ekonomik olmadığı belirlenmiştir (Leinonen, 2004; Stampfer ve Kanzian, 2006).

3. TARTIŞMA VE SONUÇ

Hasat artıkları; doğrudan veya dolaylı olarak elektrik üretiminde yada pellet ve/veya briket yapılarak ısınma sistemlerinde yakıt olarak kullanılabilir. Hasat artıklarının biyoenerji üretiminde kullanılabilmesi için orman içinden toplanması, taşınması, biriktirilmesi, yongalanması, depolanması ve ardından da çeşitli tipteki tesislerde (pellet, briket, vb. dönüştürme yöntemleriyle) işlenmesi gerekmektedir. Bununla birlikte Ülkemizde hasat artıkları hala bir endüstriyel mal olarak değerlendirilmemekte; dolayısıyla da yukarıda sözü edilen dizilimle elde edilemi, işlenmesi ve pazarlanması söz konusu olmamaktadır. Diğer taraftan pellet ya da briket gibi biyoenerji kaynakları tüketiciler tarafından yeterince bilinmediği için bir talep oluşumu da yoktur. Bu durum sektöre yatırım yapacaklar tarafından önemli bir belirsizlik ve risk unsuru olarak kabul edilse de; aslında önemli fırsatları da içermektedir. Keza yıllık 5-7 milyon ton arasında tahmin edilen, Türkiye' nin biyokütle potansiyeli sektörde hammadde tedariki bakımından önemli sorunlar yaşanmayacağı bir göstergesi olarak kabul edilebilir (OGM, 2009). Ağaç türüne bağlı

olarak gündeme gelebilecek farklı sivilkültürel müdahaleler nedeniyle ortaya çıkabilecek tedarik süreci belirsizlikleri ise uygun yer, uygun zaman, uygun miktar, uygun fiziksel dağıtım gibi etmenleri dikkate alarak kurgulanacak bir tedarik sistemi ile giderilebilir niteliktedir.

Hasat artışının hangi amaçla ve nasıl kullanılacağı, oluşturulacak tedarik sistemi yapısını etkilemektedir. Çünkü, tedarik sistemi tasarımında süreçteki iş akışı sırası, yeri ve zamanı oldukça fazla önem arz etmektedir. Bu bağlamda, anahtar öneme sahip iş aşaması, yongalamadır. Çünkü hasat artışının bölme içinden yol kenarına ve oradan da işleme merkezlerine taşınması sırasında artıkların hiç işlenmemiş ya da yonga haline getirilmiş olması transport maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Bu durum, hem biyokütleden toplam yararlanma maliyetlerini hem de yararlanmanın sürdürülebilirliğini etkilemektedir.

Maliyetler; tercih edilen yongalama teknolojisine, yongalamanın yapılacağı yere ve üretim metotlarına göre değişebilmektedir. Bununla birlikte arazinin topoğrafik yapısı, bölmeden çıkarma mesafesi, yol varlığı durumu, vb. değişkenlere birlikte ekonomik, ekolojik ve sosyal eksenli etkenler sistem yapılanmasını ve maliyetleri etkilemektedir (Eker, 2004; Eker vd., 2009). Bu bakımdan, Türkiye ormancılığında da yöresel ve bölgesel ölçekte yada ağaç türü ölçeğinde biyoenerji üretimine yönelik faaliyetlerin elde edinim maliyetlerine göre düzenlenmesi gerekmektedir. Örneğin Japonya' da, orman biyokütlesinin hasat ve transportunda verimliliğin artırılması amacıyla mekanizasyon seviyesi yükseltılarak maliyetlerin azaltılabildiği belirtilmiştir (Yoshioka vd., 2002). Buna benzer mekanize sistemlerin kullanıldığı Avrupa, İskandinav ve Amerika ülkelerinde sisteme; yongalama makine ve sistemleri ile yongaları taşıyacak transport araçları da eklenmiştir (Korpilahti, 1998). Hâlihazırda odun hammaddesi üretim sistemi için henüz mekanizasyon seviyesinin düşük olduğu Ülkemizde hasat artıkları tedariği için yongalama ve taşıma araçlarının sürece eklenmesi gerekmektedir.

Hasat artıklarının ısı ve enerji üretme tesislerine yada yonga işleme merkezlerine taşınmasının en kolay yolu yonga ve talaş halinde taşımaktır. Çünkü yongalanacak malzemenin toplanması, taşınması, yongalanması, yonganın toplanması ve taşınması hem maliyet hem de enerji harcanması gerektirmektedir. Örneğin; Japonya' da yapılan bir çalışmada, orman içinde, yol kenarında ve merkezi ünitelerde yongalama alternatifleri karşılaştırılmış yonga halindeki kuru biyokütlenin toplam elde edinim maliyetleri sırasıyla; 121-198 \$/ton, 238-437 \$/ton ve 222-527 \$/ton bulunmuştur. Her üç sistemdeki enerji girdisinin elde edilen biyokütlenin enerji çıktısına oranı ise sırasıyla %3,92-8,38; %4,5-10,4; %6,5-23,6 olarak belirlenmiştir. Bazı ülkelerde yapılmış araştırmalara göre ortaya çıkan maliyetler ve karbon salınım miktarları Çizelge 1' de verilmiştir (Yoshioka vd., 2002).

Buna göre 1 MWh enerji elde etmek için en düşük yonga tedarik maliyetinin orman içinde (bölme içinde) yapılan yongalama sistemi ile sağlanabildiği ve bunun toplam karbon salımı açısından da avantajlar sunduğu görülmektedir. Yongalama işlemi sisteme ne kadar erken dahil edilirse, maliyetler o denli düşürülebilmektedir. Örneğin, 1 MWh enerji elde etmek için fosil yakıtlarla orman artıklarını kıyaslayan Hektor (1998), maliyetlerin birbirine yakın olduğunu bulmuş ve bunun hasat artıkları tedarik maliyetlerinin yüksek olmasından kaynaklandığını belirtmiştir. Ayrıca, Avrupa ormancılığında, biyoenerji üretmek için elde edinim maliyetlerinin 10 \$/MWh olmasının hedeflenebileceği belirtilmiştir (Hunter vd., 1999). Türkiye koşullarında da hasat artıklarının çeşitli amaçlarla kullanılabilmesi için elde edinim maliyetinin 45-50 \$/ton civarında olması, hedef maliyet olarak benimsenebilir.

Çizelge 1. Yongalama sistemlerine göre maliyetler ve CO₂ salım miktarları (Yoshioka vd., 2002)

Ülkeler	Ortalama Toplam Elde Edinim Maliyet (\$/MWh)				Karbon Salımı (kg CO ₂ /MWh)		
	Transport Mesafesi	Orman İçi Yongalama	Yol Kenarı Yongalama	Merkezde Yongalama	Orman İçi Yongalama	Yol Kenarı Yongalama	Merkezde Yongalama
Japonya	20-80 km	64,4	102,5	190,5	4,75	5,85	11,75
U.Kingdom	20-80 km	12,6	12	9,8	-	-	-
İsveç	60 km	-	14,8	12,9	-	-	-
Finlandiya	60 km	9,9	9,7	-	5,78	5,61	-

* 2010 yılı Ocak ayı başlangıcında 1\$=1,48 TL (Merkez Bankası verileri)

Ülkemizin çeşitli bölgelerinde yapılan yongalama çalışmalarında; Aladağ Orman İşletme Müdürlüğü'nde yol kenarında yongalama sistemiyle 1 ton yonga elde edinim maliyetinin 292,78 TL/ton olduğu, Gölyaka Orman İşletme Müdürlüğü'nde yol kenarında yongalama sistemiyle (40 km taşıma mesafesi dahil) toplam maliyetin 60 TL/ton olduğu ve Denizli Orman Bölge Müdürlüğü'nde merkezi tesiste/atölyede yongalama maliyetinin 95 TL/ton olduğu belirtilmiştir (OGM, 2009). Bu maliyetlerin belirlenmesinde hasat artıklarının satın alma bedeli, işçilik ve yönetim giderleri ile diğer değişken maliyetlerin bileşimi dikkate alınmış; sistemin kuruluş maliyeti ise (yatırım ve sabit maliyetler) değerlendirme dışı bırakılmıştır. Bu maliyetlere göre 1 ton için 4,65 MWh saatlik enerji eşdeğer oranı kullanıldığında yukarıdaki örneklere göre sırasıyla; 62,96 TL/MWh, 12,90 TL/MWh ve 20,43 TL/MWh olarak hesaplanmıştır. Ancak, kitlesel üretim ve taşıma maliyetleri ile birlikte bu oranların değişeceği mutlak olup seçilecek yongalama sistemi ve yeri de bu maliyetleri etkileyecektir.

Türkiye ormancılığında, hasat artıkları tedarik zincirine yönelik bir sistem yapılandırmasında ana amaçlardan biri maliyetlerin düşürülmesidir. Bu noktada dikkat edilecek husus, sabit ve değişken maliyetlerle bunlara ait diğer bileşenler üzerinde odaklanmaktır. Sabit maliyetlerin en önemli kısmı yatırım maliyetlerinden oluşmaktadır. Mevcut odun hammaddesi üretim sistemine ilk etapta bir yongalama sisteminin/makinesinin eklenmesi gerekmektedir. En düşük maliyetler gözetilerek traktör tarafından çekilen ve gücünü bu araçtan alan mobil yongalama makinelerini kullanmak mümkündür. Satın alma maliyetleri, kolay elde edilebilirlik ve kullanılabilirlik açısından uygunluğu söz konusudur.

Yongalama makinesinin iş akışı içindeki konumu, taşınacak ürünün tipini (dağınık haldeki hasat artığı, balyalanmış hasat artığı, yonga, vb.) belirlemektedir. Yol kenarında yongalama ve yonganın transportu en bilindik yöntemdir. Ancak, yongalamanın bir kamyon konteynerine doğrudan yapılması, işlemsel gecikmelere yani sistem veriminin düşmesine neden olabilmektedir (Stampfer ve Kanzian, 2006). Ancak uygun rampa yerlerinin hazırlanması, taşıyıcı kamyon yada traktör römorkunun sayısının artırılması gibi önlemler sisteminin kullanılabilirliğini arttırabilecektir. Yol kenarında yongalama; hem tomruk hem de bütün ağaç üretim metodu için uygundur. Ülkemizde tomruk üretim metodu uygulanmaktadır ve hasat artıklarının bölmeden çıkarılması maliyetlerinin azaltılması için bütün ağaç metodu da uygulanabilir.

Hasat artıklarını tedarigi için öncelikle yol kenarında traktöre monteli mobil yongalama makineleriyle işlemlere başlanmalı, sistem optimizasyonu sürekli iyileştirme felsefesine göre adım adım sağlanmalıdır. Türkiye' de özellikle kızılçam ormanlarında uygulanabilecek hasat artıkları elde edinimine ilişkin önerilebilecek sistem, Johansson vd. (2006)' den yaralanılarak türetilmiş aşağıdaki tedarik matrisi üzerinde işaretlenmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Hasat artıkları tedarik matrisi

Bölme	Yol kenarı	Yol	İşleme/Dönüştürme Merkezi
Yongalama+ Bölmeden Çıkarma	Yaş Yonganın Biriktirilmesi + Yükleme	Yaş Yonganın Taşınması	Yaş Yonganın Depolanması+Kurutma +İşleme
Yongalama+ Bölmeden Çıkarma	Yaş Yonganın Biriktirilmesi+Kurutulması+ Yükleme	Kuru Yonganın Taşınması	Kuru Yonganın Depolanması+İşlenmesi
Hasat Artığının Toplanması+ Bölmeden Çıkarma	Biriktirme+ Yongalama	Kuru Yonganın Taşınması	Kuru Yonganın Depolanması+İşlenmesi
Hasat Artığının Toplanması+ Bölmeden Çıkarma	Yaş Hasat Artığının Biriktirmesi+Kurutma+Yükleme	Kuru Hasat Artığının Taşınması	Biriktirme+Yongalama+Depolama+ İşleme
Hasat Artığının Toplanması+ Bölmeden Çıkarma	Yaş Hasat Artığının Biriktirilmesi+Yükleme	Yaş Hasat Artığının Taşınması	Depolama+Kurutma+Yongalama+ İşleme
Balyalama+Bölmeden Çıkarma	Biriktirme+Kurutma+Yongalama	Kuru Yonganın Taşınması	Depolama+İşleme
Balyalama+Bölmeden Çıkarma	Biriktirme+Kurutma	Kuru Balyanın Taşınması	Biriktirme+Yongalama+Depolama+ İşleme
Balyalama+Bölmeden Çıkarma	Yaş Balya	Yaş Balyanın Taşınması	Depolama+Kurutma+Yongalama+ İşleme

Ülkemiz koşullarında hasat artıkları tedarik maliyetinin azaltılması için toplama, işleme ve transport maliyetlerinin azaltılması gerekmektedir. Bu amaç için de; yol yoğunluğunun arttırılarak bölmeden çıkarma maliyetlerinin düşürülmesi, yongalama makinelerinin ve talaş/yonga taşıma kapasitesi yüksek olan araçların orman içine girişinin kolaylaştırılması gerekmektedir. Bununla birlikte, hasat artıkları tedarik sisteminin uygulanabilirliğinin sağlanması için; envanter, maliyet analizi, teknik analiz, enerji analizi, duyarlılık analizi, karbon salım analizi ve sistem fizibilitesinin de yapılması gereklidir.

Sistem maliyetlerinin azaltılması, verimliliğin arttırılması, uygulanabilirliğin sağlanması ve ekolojik etkilerin azaltılması açısından;

- Hasat artıklarının hangi amaçlar için kullanılacağı yöresel ve bölgesel ölçekte belirlenmeli,
- Yonga kalitesi ve yongalama teknolojisi belirlenmeli,
- Üretim metoduna karar verilmeli ve bölmeden çıkarma teknikleri iyileştirilmelidir,
- Hasat artıklarının tedarik edilebileceği alanlar kararlaştırılmalı,
- Hasat artıklarının ne kadarının yongalama için bölmeden çıkarılacağı belirlenmeli,
- Muhtemel ekolojik zararlar tespit edilmeli,
- Sosyal açıdan yada satış yöntemleri açısından (dikili satışlar, vb.) hasat artıklarının değerlendirilmesinin ortaya çıkaracağı sorunlar araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Acar, H.H., Kalaycıoğlu, H., Topalak, O. (2001) Harvesting of Rhododendron Wood by Chippers. Third Balkan Scientific Conference, 2-6 October 2001, Sofia
- Allen J, BROWNE M, HUNTER A, BOYD J, PALMER H. (1998) Logistics Management and Costs of Biomass Fuel Supply. International Journal of Physical Distribution and Logistics Management;28(6):1-10.
- Ateş, S., Akyıldız, H.M., Vurdu, H., Akgül, M. (2007).Türkiye' de Orman Kesim Artıkları ve Değerlendirilmesi. Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi,7(1), 94-103.
- Bradley, D. (2007). Canada-Sustainable Forest Biomass Supply Chains. For IEA Task 40, 31 p., www.climatechangesolutions.net (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2009)

- Cuchet, E., Roux, P., Spinelli, R. (2004), Performance of A Logging Residue Bundler in The Temperature Forests Of France. *Biomass and Bioenergy*, 27(1), 31-39.
- Eker, M. (2004), Ormancılıkta Odun Hammaddesi Üretiminde Operasyonel Planlama Modelinin Geliştirilmesi. KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 239 s., Trabzon.
- Eker, M., ÇOBAN, H.O., ACAR, H.H. (2009), The Procurement Problem Of Logging Residues in Turkish Forestry. *Proceedings of FORMEC '09*, June 21st – 24th, Prague – Czech Republic, pp. 115-124.
- Erdaş, O. (1988), Aralama ve Boşaltma Kesimlerinde Bölmeden Çıkarma Problemleri. *Orman Mühendisliği Dergisi*, Nisan-Mayıs, Sayı 4-5, Ankara.
- FAO (2009), *State of the World's Forests-2009*. FAO, Rome, 152 p.
- Grammel, R. (1988), *Holzernte und Holztransport*. Verlag Paul Parey – Hamburg und Berlin.
- Hacker, J.J. (2005), Effects of Logging Residue Removal on Forest Sites A Literature Review. *West Central Wisconsin Regional Planning Commission*, 19 p.
- Hakkıla, P. (2006), Factors Driving The Development of Forest Energy in Finland. *Biomass and Bioenergy*, 30, 281-288.
- Hektor, B. (1998), Cost Effectiveness of Measures for Reduction of Net Accumulation of Carbon Diioxide in The Atmosphere. *Biomass Bioenergy* 15: 299-309.
- Hunter, A., Boyd, J., Palmer, H., Allen J., Browne, M. (1999), Transport of Forest Residues to Power Stations. *Proceeding of FEG International Conference*, Edinburgh 28-30 June.
- Johansson, J., Liss, J., Gullberg, T., Bjorhaden, R. (2006), Transport and Handling of Forest Energy Bundles-Advantages and Problems. *Biomass and Bioenergy*, 30(4), 334-341.
- JUNGİNGER M., Faaija, A., Bjorhaden, R., Turkenburg W.C. (2005), Technological Learning and Cost Reductions in Wood Fuel Supply Chains in Sweden. *Biomass and Bioenergy*, 29, 399-418.
- KÄRHÄ, K., JYLHÄ, P., Lartila, J. (2009), The Fixteri – A Novel Machine Concept for Integrated Pulpwood and Energy Wood Harvesting in Early Thinnings. *Proceedings in FORMEC '09 June 21st – 24th, 2009, Kostelec/ Prague – Czech Republic*, pp. 220-228.
- Kanzian, C. (2009), Supply Chain Network Design For Forest Wood Chips. *Proceedings of FORMEC '09, June 21st – 24th, Prague – Czech Republic*, pp.194-205.
- Kanzian, C., Holzleitner, F., Stampfer, K. & Ashton, S. (2009), Regional Energy Wood Logistics– Optimizing Local Fuel Supply. *Silva Fennica* 43(1): 113–128.
- Korpilahti, A. (1998), Finnish Forest Energy Systems And CO2 Consequences. *Biomass and Bioenergy* 15(4/5): 293–297
- Leinonen, A. (2004), Harvesting Technology of Forest Residues for Fuel in The USA and Finland. *Espoo 2004. VTT Tiedotteita, Research Notes: 2229*. pp.132-142
- OGM (2009), Yenilenebilir Enerjide Orman Biyokütlesinin Durumu. *Biyoenerji Çalışma Grubu Raporu*. Orman Genel Müdürlüğü, 134 s., Ankara.
- Röser, D., Asikainen, A., Rasmussen, K.R., Stupak, I. (2008), Sustainable Use of Forest Biomass for Energy: A Synthesis with Focus on The Baltic And Nordic Countries. *Managing Forest Ecosystems. Volume-II*, 232 p., Netherlands.
- Saraçoğlu, N. (2006), Modern Enerji Ormancılığının Türkiye Ormancılığı, Kırsal Kalkınma Ve Ülke Ekonomisine Katkısı. *Orman ve Av*, 83(1), 33-38.
- Spinelli, R., Hartsough, B. (2001), A Survey of Italian Chipping Operations. *Biomass and Bioenergy*, 21, 433-444.

- Stampfer, K., Kanzian, C. (2006), Current State And Development Possibilities of Wood Chip Supply Chains In Austria. *Croatian Journal of Forest Engineering* 27 (2006) 2:135-145.
- Sterba, H. (2003), Growth After Biomass Removal During Precommercial Thinning. In: Limbeck-Lilineau, B., Steinmüller, Th., Stampfer, K. (Hrsg.), *Austro2003: High Tech Forest Operations for Mountainous Terrain*, Institute of Forest Engineering, pp. 1–9.
- Talbot, B., SUADĪCANĪ, K. (2005), Analysis of Two Simulated in-Field Chipping and Extraction Systems in Spruce Thinning. *Biosystems Engineering*, 91(3), 283-292.
- Yoshioka, T., Aruga, K., Sakai, H., Kobayashi, H., NĪTAMĪ, T. (2002), Cost, Energy and Carbon Dioxide(CO₂) Effectiveness of a Harvetsing and Trabnsporting System for Residual Forest Biomass. *J. For. Res.*, 7, 157-163.