



Muğla Yöresi Yüksek Tünel Tipi Örtüaltı Yapısının Statik Analizi

Kıvanç TOPÇUOĞLU

Muğla Üniversitesi, Muğla Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Muğla

*Sorumlu yazar
e-posta: ktopcuoglu@mu.edu.tr

Geliş Tarihi : 30 Kasım 2013

Kabul Tarihi : 31 Aralık 2013

Özet

Örtüaltı yetiştiriciliği ülkemizde ve özellikle güney illerimizde önemli ekonomik getiriye sahiptir. Gerek ilk yatırım maliyetlerinin yüksek oluşu gerekse yenileme ve bakım giderlerinin üretim maliyetindeki payı bu sistemlerin ekonomik ve güvenli olarak kurulması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Ülkemizde örtüaltı yetiştiricilerinin fırtına, hortum, kar ve dolu yükü gibi nedenlerle uğradıkları zarar her yıl milyon dolarlar ile ifade edilmektedir. Bir mühendislik yapısı olarak tünel, sera gibi tarımsal yapıların da mühendislik yöntemleriyle analiz edilerek projelendirilmesi, bu yapıların statik yönden daha güvenli olmalarını sağlayacak ve dolayısıyla devamlı deformasyonlardan kaynaklanacak ekonomik kayıplar en aza inecektir. Bu çalışmada Muğla yöresinde yaygın olarak uygulanan yüksek tünel tipi örtüaltı yapı konstrüksiyonu, doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemiyle gerilme analiziyapılmış ve statik yönden güvenliğin artırılmasına yönelik önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Yüksek tünel, yapı konstrüksiyonu, SAP 2000, statik-dinamik analiz.

Static Analysis of High Tunnel Type Greenhouse Structure in Muğla Region

Abstract

In our country, and especially in the Southern provinces, greenhouse cultivation has significant economic returns. Both the high cost of the initial investment cost of production and the share of the renovation and maintenance costs of these systems raises the need for the establishment of this system economically and safely. In our country, the losses such as hail, storms, tornadoes, snow and hail load that the greenhouse growers suffered are expressed in terms of billions of dollars every year. As an engineering construction, by analyzing how to project and construct the agricultural constructions such as the tunnel and green house will minimize the economic losses. In this study, stress analysis of tunnel-type greenhouse construction widely applied in the region of Muğla is done with non-linear finite element method and recommendations are made to strengthen security in the static aspects.

Keywords: High tunnel, building construction, SAP 2000, static-dynamic analysis.

GİRİŞ

Günümüzde yaşanmakta olan hızlı nüfus artışı gıda üretiminin de hızla artırılması gereğini ortaya çıkarmıştır. Bitkisel üretimin tarımdaki ekonomik payı %78 seviyesindedir. Rasyonel tarımın yapıldığı ülkelerde tarımsal ürünlerin % 60'ı, ülkemizde ise % 25-30'u gıdasanayiinde değerlendirilmektedir. Bu nedenle gıda sanayi için genel olarak tarım sektörü özelde ise bitkisel üretim vazgeçilmez bir hammadde kaynağıdır (TÜBİTAK, 2003).

Örtüaltı tarımında kullanılan yapılar, alçak plastik tüneller, yüksek plastik tüneller ve seralar olmak üzere üç grupta incelenmektedir. Bitki yetiştirilebilmesi için çevre koşullarının olumsuz etkilerini kısmen ortadan kaldıran alçak ve yüksek tüneller sera olarak nitelendirilmemektedir (Öneş 1990). Alçak plastik tüneller genişliği 60-200 cm, yüksekliği 30-200 cm, uzunluğu 20-50 m arasında değişen tel, demir, ağaç dalları ve kargıdan yapılan yarım daire şeklindeki iskelet üzerine plastik örtünün kaplanmasıyla oluşturulan

basit örtüaltı üretim yerleri olarak tanımlanabilir (Ertekin 1991). Yüksek plastik tüneller ise alçak tüneller ile seralar arasında geçiş yapıları olup, genişliği 3-4 m, yüksekliği 1.5-2 m olan, yarım daire şeklindeki ana çemberleri bağlantı elemanları ile birbirine sabitlenen, iskelet malzemelerinin üzerine plastikörtüler kaplanması sonucu hazırlanan yapılarıdır (TSE, 2001).

Bitkisel üretimde iklimsel olumsuzlukları ortadan kaldırmak adına örtüaltı yetiştiriciliği önemini her geçen gün arttırmaktadır. Örtüaltı üretimin ekonomik getirisinin yüksekliği üreticiler açısından cazip bulunmaktadır. Ancak ilk yatırım maliyetleri nedeniyle küçük üreticiler tarafından örtüaltı yetiştiriciliğinde sera uygulamaları yerine tünellerin tercih edildiği görülmektedir. Günümüzde örtü (cam, PE, polikarbonat) ve konstrüksiyon (çelik, galvanizli çelik, alüminyum, vb.) malzemesine, çatı havalandırmasının olup olmamasına, havalandırma pencerelerinin net ile kapatılıp kapatılmamasına bağlı olarak plastik sera maliyetinin 10-25 USD/m², cam sera maliyetinin ise 30-35 USD/m² arasında değişebileceği bildirilmektedir (Tüzel, 2005).

TS 12741 nolu standarda göre sera; "İklimle ilgili çevre koşullarına tamamen veya kısmen bağlı kalmadan gerektiğinde sıcaklık, nem, ışık ve havalandırma gibi faktörleri kontrol altında tutularak bütün yıl boyunca çeşitli kültür bitkileri ile bunların tohum, fide ve fidanlarını üretmek, bitkilerini saklamak, sergilemek amacıyla cam, plastik vb. ışık geçirebilen maddelerle kaplanarak değişik şekillerde inşa edilen yüksek sistemde bir örtüaltı yetiştiriciliği yapısı" olarak tanımlanmaktadır (Mercan, 2013).

Örtüaltı yetiştiriciliğinin ülkemizdeki yayılışı incelendiğinde örtüaltı uygulamasının %90'nın Akdeniz Bölgesi ve Muğla yöresinde yapıldığı görülmektedir. (Emekli, 2008). Türkiye İstatistik Kurumunun 2013 verilerine göre son bir yılda Muğla İlinde örtüaltı yetiştiriciliği yapılan toplam alan %2 artarak 32643 dekara çıkmıştır. Yine son bir yıl içinde tünel yapılarının toplam alanı ise %11 artarak 4669 dekara ulaşmıştır (TUİK, 2013). Örtüaltı üretim yapılarının alansal dağılımına göre Muğla ili; Ege Bölgesinde birinci, Türkiye genelinde ise dördüncü sırada yer almaktadır (Tüzel, 2005).

Muğla yöresinde örtüaltı yetiştiriciliğinde en yüksek artış eğilimi yüksek tünel tipi yapılarda olmaktadır. Düşük yapım maliyetleri nedeniyle tercih edilen tünel yapıları için ise uygulanacakları bölge koşullarına göre bir yapı analizi yapılmamaktadır. Rüzgar, kar ve dolu gibi yüklerin hem taşıyıcı sisteme hem de örtü malzemesine etkilerinin belirlenip yapıların statik ve dinamik analizlerinin yapılması gerekmektedir. 10-13 Kasım 2007 tarihinde Fethiye'de meydana gelen ve hızı 88 km/saat olan fırtınada örtüaltı yetiştiricilerinin uğradığı zarar 2007 yılı için 5.510 TL olarak belirlenmiştir (Anonim, 2013). Muğla yöresi için kaydedilmiş en yüksek rüzgar hızı ise 108.7 km/saat dir (MGM, 2013) ve bu değer 88 km/saat'lik bir rüzgar hızından %53 daha fazla rüzgar yükü oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığının tarım kooperatiflerinin uygulaması için geliştirdiği ve Muğla yöresinde özellikle Ortaca ve Fethiye İlçelerinde yaygın olarak uygulanan örtüaltı üretim yapısı tip projesi, SAP2000 programı kullanılarak statik yönden analiz edilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada; Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı tarafından geliştirilmiş yaklaşık 500 m² büyüklüğünde yüksek tünel tipi bir örtüaltı üretim yapısı tip projesi materyal olarak ele alınmıştır. Projede öngörülen örtüaltı üretim yapısı; plastik (polietilen) film malzemesiyle örtülü yay çatılı bir

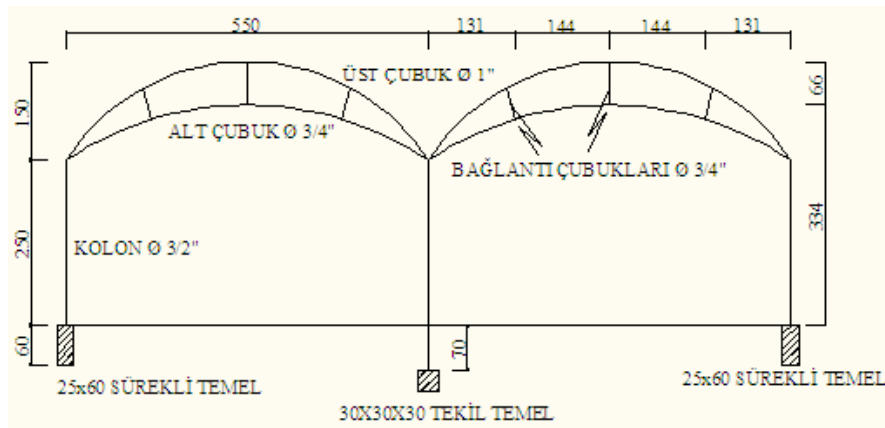
plastik tüneldir. Bu tip örtüaltı üretim yapıları Muğla yöresinde oldukça yaygın biçimde uygulanmaktadır.

Çalışmaya konu olan yay çatılı tünel yapısı; 5,5 m eninde ve 45 m uzunluğunda iki adet tünelin uzun doğrultu boyunca birleştirilmesi şeklinde tasarlanmıştır. Tünel yüksekliği 4 m, oluk yüksekliği 2.5 m'dir. Boyuna aks aralıkları 2.5 m olup toplam 19 adettir. Enine doğrultuda aks aralıkları 5.5 m olup üç adettir. Yapıda sürekli ve tekil temel birlikte kullanılmıştır. Boyuna uzanan orta aksta 30x30x30 cm tekil temeller, yapı kenarlarında ise 25x60 cm sürekli temel öngörülmüştür. Taşıyıcı direklerin hepsi çapı 3/2" olan galvanizli çelik su borusudur. Çatı kısmı ise; 1" ve 3/4" çapında borulardan yapılmış iki yayın makas haline getirilmesiyle oluşturulmuştur (Şekil 1).

Akdeniz ikliminin görüldüğü bölgelerdeki seralarda karşılaşılan temel problemler içerisinde rüzgar yükü, beklenmedik zamanlardaki kar yükü ve dolu yağışı zararları bulunmaktadır. (Elsner et al., 2000). Yay çatının geometrisi nedeniyle tünel yapısının aerodinamik katsayısı diğer yapı modellerinden daha düşüktür. Bu nedenle, konstrüksiyonlar rüzgar yüküne karşı daha küçük boyutlu profillerle oluşturulabilmektedir. Buna karşın polietilen (PE)'nin esneme ve yırtılma özelliği rüzgar yükünün yapıya daha yüksek kuvvetle ve hesap edilemeyen şekilde yansımaya da neden olabilmektedir. Özellikle yırtılmış yan yüzey kaplamalarından yapı içine giren hava kütlesi konstrüksiyona öngörülmemiş yüklemeler yapmaktadır.

Bu tür yapıların dayanımına pozitif yönde bir katkı kullanılan örtü malzemesinin ağırlığıdır. Gerek uygulanan PE film örtüsünün inceliğinin ve gerekse yoğunluğunun düşük oluşu, cam örtü malzemesine göre üstünlük olarak ortaya çıkmaktadır. Cam örtüsü, PE film örtüsünden yaklaşık 54 kat daha ağır bir örtü yükü olarak konstrüksiyona etkimektedir.

Farklı yüklemeler altında kalan PE kaplama malzemesinin malzeme yorulmasına bağlı olarak mekanik özelliklerinin çok değiştiği yapılan testlerle belirlenmiştir (Alhamdan ve Al-helal, 2009). PE'nin yoğunluğu 910-960 kg/m³ arasında değişmektedir (Çetinel, 2000). Yüksek yoğunluklu PE örtü malzemesi için yapılan bir başka deneysel çalışmada, akma gerilmesinin 20.7-26.7 MPa, kopma gerilmesinin 28.5-34.2 MPa ve kopma uzamasının % 912-1112 arasında olduğu belirlenmiştir (Düşünceli ve Çolak, 2007). Cam ise kırılma ve gevrek yapısı ile çekme gerilmesi taşımayan bir yapı elemanıdır. Özellikle cam seralarda, cam örtü malzemesi üzerinde biriken suyun donması durumunda örtü panellerinin zarar gördüğü belirtilmiştir. Bu nedenle, çatı eğim açısının bölgedeki yağmur ve kar yağışı dikkate alınarak belirlenmesi gerektiği vurgulanmıştır (Öztürk, 2003).



Şekil 1. Yay çatılı tünel enkesiti

Yapıların projelendirilmesinde karşı koyacakları yüklerin belirlenmiş güvenlik katsayılarıyla hesaplara dahil edilmeleri gerekmektedir. Yapıya etkiyen yükler; sabit (ölü) yükler, hareketli yükler, kar, buz ve rüzgâr yükleri (TSE, 1997a; TSE, 1997b) ve deprem yükleri (Anonim, 2007) olarak sınıflandırılmaktadır. Bir mühendislik yapısı olarak örtüaltı üretim yapısı konstrüksiyonlarının projelendirilmesinde de tüm bu yüklerin hesabı ve yapıya etkilerinin değerlendirilmesi gerekmektedir.

Örtüaltı üretim yapılarının projelendirilmesinde yöresel iklim verilerinin dikkate alınması gerekmektedir. Hesaplamalarda Muğla iline ait iklim parametrelerinin değeri göz önüne alınmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (2013) verilerine göre Muğla ilinde ölçülen en yüksek kar kalınlığı 25 cm ve en güçlü rüzgâr 108.7 km/saat hızdadır. TSE 498'e göre rüzgâr yüklemesinde 0-8 m yükseklikteki yapılara 100 km/saat rüzgâr hızı için yüklem yapılması öngörülmektedir. Gerçekleşmiş 108.7 km/saat hızındaki bir rüzgâr 100 km/saat hızındaki bir rüzgârdan yaklaşık %19 daha fazla rüzgâr yükü oluşturmaktadır. Bu nedenle hesaplamada dikkate alınan rüzgâr hızı 108.7 km/saatdir.

Örtüaltı yapı sisteminde askıya alınan bitkilerin yanı sıra ısıtma, soğutma, aydınlatma, gölgeleme, sulama, havalandırma ve ıslatma gibi tesisat yükleri, yetiştiricilik tipi ve konstrüksiyon özellikleri, tasarım biçimine göre değişiklik göstermektedir. Söz konusu yükler için asgari 70 N/m² (7.14 kgf/m²) alınması önerilmektedir (TSE, 2003; Mercan, 2013). Seraların projelendirilme aşamasında göz önüne alınması gereken bir diğer yük ise yetiştirilecek bitkilerin askı yükleridir. Askı yüklerinin serada yetiştirilmesi planlanan bitkiler için Çizelge 1'den alınması gerekmektedir (Mercan, 2013). Ancak yük seçiminde üretilecek bitki cinsinin değişebileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Sera konstrüksiyonunun yetiştirilebilecek daha ağır askı yüküne sahip ürünler için de projelendirilmesi ileride karşılaşılabilecek güçlendirme sorunlarını önleyecektir.

Çizelge 1. Bitki hareketlerinin (yüklerin) en küçük değerleri (TSE, 2003; Mercan, 2013)

Bitki	Bitki hareketleri için en az değer, q _{k3} (kN/m ²)
Domates ve hıyar gibi sebzeler	0.15
Çilek gibi hafif kasalardaki bitkiler	0.30
Saksı bitkileri gibi ağır kasalarda yetiştirilen bitkiler	1.00

Rüzgâr hızının etkidiği yüzeyde yaratmış olduğu basınç yada çekme kuvveti ampirik olarak üretilmiş formüllerle hesaplanabilmektedir. Rüzgâr basıncının ve eşdeğer statik basıncın hesaplanmasında kullanılan eşitlikler ve bu eşitliklerde yer alan parametrelerin tanımlamaları aşağıda verilmiştir (Topçu, 2013):

$$q = V^2 / 1600$$

$$W = cp \times q$$

q: Yüzeye yayılı rüzgâr basıncı veya emme (kN/m²)

V: Rüzgâr hızı (m/s)

W: Eşdeğer statik basınç veya emme kuvveti (kN/m²)

cp: Yapı yüzeyinin konumuna bağlı katsayı (0.4-0.8 arasında değişir).

Kar yükü değerleri, kar yükü bölgelerine göre TSE 498 (TSE, 1997)'deki çizelgelerinden alınır. Muğla ilçeleri 0-850 m arasında rakımlara sahiptir. Ancak örtüaltı yetiştiriciliğinin yoğun olarak yapıldığı Fethiye 110 m, Ortaca 15 m, Köyceğiz ise 21m rakımdadır. TSE 498'e göre Muğla'da 200 m rakıma kadar olan yerler için kar yükünün 76.5 kg/m² alınması gerekmektedir. Kar yükü, çatı eğimlerinin 30°'yi geçtiği durumlarda azalırken, daha düşük eğimli çatılarda artmaktadır. Muğla'da kayıt altına alınmış en yüksek kar yağışı 25 cm olmuştur. Bu yükseklikteki bir yağışın aktardığı yük 100-125 kg arasında değişmektedir. Bu nedenle, yapıların projelendirilmesinde kar yüklemesinin mutlaka yapılması gerekmektedir.

SAP2000 (Structural Analysis Program) programı ile her çeşit yapı ve köprünün sonlu elemanlar modelleme yöntemi kullanılarak 3 boyutlu, statik, dinamik, doğrusal veya doğrusal olmayan çözümü mümkündür. Güçlü grafik kullanıcı arayüzü ve modelleme hızı ile sonuçlar görüntülenebilmekte ve yazdırılabilmektedir. (Karaman ve ark., 2012). SAP2000, hızlı ve kolay modelleme, bir başka programdan yada kendi kütüphanesinden model transferi, anlık değişiklikler yapabilme, analiz sonuçlarını sayısal ve grafik olarak inceleme ve boyutlandırmada optimizasyon gibi bir çok fonksiyonu içeren kapsamlı bir yazılımdır (Kocabaş, 2005).

Yapı analizi yapan yazılımlar içinde SAP2000 programı uzun zamandır özel bir yer edinmiştir. Programın her türlü parametreyi değiştirmeye izin vermesi, yeni malzemelerin tanımlanabilir oluşu, yapı analizini dinamik ve doğrusal olmayan bir çözümlemeyle yapması üstünlükleridir. Akademik niteliği olan tüm çalışmalarda program çıktıları referans olarak gösterilmektedirler. Bu nedenle, Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığının geliştirmiş olduğu söz konusu tünel yapısı projesinin SAP2000 yapı analizi programı aracılığıyla çözümlenmesinin sonuçlarının güvenilirliği açısından önemli olduğu düşünülmüştür.

Bu çalışmada kullanılan SAP2000 programının tam sürüm olması, yapı sistemini sınırsız düğüm noktasıyla ele almaya olanak sağlamaktadır. Buna bağlı olarak, çalışma materyali olan tünel sisteminin statik yönden yapısal analizinde; yapı sistemini oluşturan çerçevelerin çözümü yerine sistem bir bütün olarak değerlendirilerek üç boyutlu çözümü elde edilmiştir.

SAP 2000, modellenmiş olan yapı sistemini sonlu elemanlar yöntemiyle analiz etmektedir. Sonlu elemanlar yöntemindeki nodlar çubuk elemanların birbirlerine mesnetlenme noktalarıdır. Yine yöntemdeki elemanlar ise çubuk elemanların kendisidir. Nodlar üzerindeki kurulmuş $\sum F_x = 0$, $\sum F_y = 0$, $\sum F_z = 0$, $\sum M_x = 0$, $\sum M_y = 0$, $\sum M_z = 0$ şeklindeki 3 eksenli denklemler ile hesaplama yapılmaktadır. Herhangi bir çubuğa ait gerilmeler çubuk elemanın iki ucundaki nodlarda meydana gelen reaksiyonlarının enterpolasyonu ile bulunmaktadır.

Söz konusu örnek tünelde, yapı sistemi analiz edilirken kullanılacak yüklem kombinasyonları D (Ölü yük), W (Rüzgâr yükü) ve S (Kar yükü) olmak üzere D, D+W, D+S şeklinde olmuştur. Sistemin bu yüklem koşullarına karşı stabil kaldığı durumda kar ve rüzgâr yükü birlikte dikkate alınmıştır.

Çelik yapıların analizinde çubuk elemanın elastik davranış göstermesi beklenir. Bir başka deyişle yüklem altında kalıcı deformasyonlar meydana gelmemelidir. Çubuk elemanın elastik bölge içerisinde taşıyabileceği gerilmenin ve yüklem altında maruz kaldığı gerilmenin oranı ise en az 1.5 olmalıdır. Bu çubuk eleman için güvenlik katsayısıdır. $\sigma_{emniyet}$; bir çubuk elemanın emniyetle taşıyabileceği gerilme miktarı,

σ_{maks} : çubuk elemanın taşıyabileceği en yüksek gerilme miktarı olmak üzere

$$\sigma_{emniyet} = \frac{\sigma_{maks}}{1.5}$$

olarak tanımlanır. Çubuk eleman üzerinde meydana gelengeri, emniyetli gerilme miktarından ($\sigma_{emniyet}$) yüksek olduğunda çubuk elemanın tekrar boyutlandırılması yada üzerine gelen normal kuvvet, kesme kuvveti veya momentin azaltılması gerekir. Söz konusu tünel konstrüksiyonun güçlendirilmesinde mevcut profillerin değiştirilmesi yerine sisteme ilave edilecek yeni profillerle, yetersiz kalan profillerin karşılaştıkları gerilme kuvvetleri azaltılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışmada ele alınan örnek tünelin mevcut konstrüksiyonu ile bu yapının statik yönden güçlendirilmiş konstrüksiyonunun statik analizi sonuçları aşağıda ayrı başlıklar altında sunulmuştur.

Örnek Tünel Yapısının Statik Analiz Sonuçları

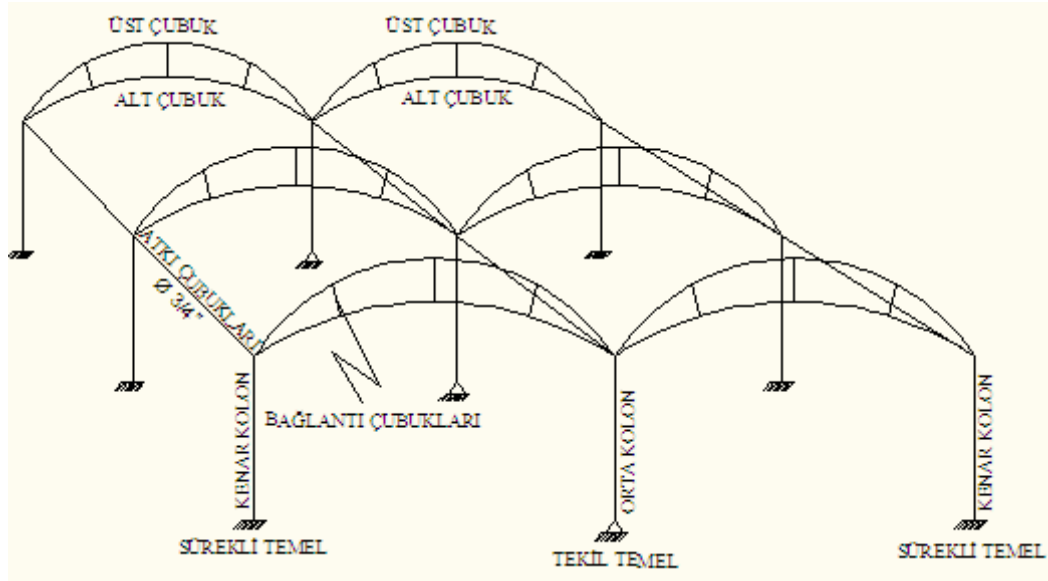
Örnek tünel konstrüksiyonunun sadece askı yükü, askı yüküyle birlikte rüzgar ve kar yüklerine göre statik yeterlilikleri, diğer bir ifadeyle yapı sistemi performansları ile

öngörülen temel sistemlerinin statik yeterliliğine ilişkin sonuçlar aşağıda açıklanmıştır.

Değerlendirmenin ilk aşamasında, yapının maruz kalacağı yüklerden askı yükü (150 N/m^2) uygulanarak yapı elemanlarının performansları hesaplanmıştır. SAP2000 programında yapı bir bütün olarak ve elemanlar için ayrı ayrı olmak üzere birkaç şekilde analiz edilir. Tasarımda elemanı hangi performansta kullanacağı projecinin takdirinde olsa da genel olarak elemanın taşıma sınırına yaklaşılmaması doğru olanıdır. Analiz sonucunda elemanların performansları renklerle gösterilebildiği gibi sayısal olarak da okunabilir. Elemanın yükleme sonucu maruz kaldığı en yüksek moment, kesme kuvveti ve normal kuvvet değerlerinin elemanın taşıyabileceği reaksiyon kuvveti değerlerine oranı eleman performans değerini göstermektedir. Bu performans değerleri teorik olarak 0 ile 1.00 arasında olabilir de tercihen 0.80'i geçmemelidir. Performans değerleri 1.00'in üzerinde olan elemanların ise tekrardan boyutlandırılması gerekmektedir.

Örnek tünel yapısının statik analiz sonuçlarının tablo halinde gösterilebilmesi amacıyla konstrüksiyona ait elemanlar gruplandırılmıştır. Bu grup isimlerinin ifade ettikleri yapı elemanları Şekil 2. deki tünel yapısına ait perspektif görünüşünde gösterilmiştir.

Örnek tünel yapısına sırasıyla askı yükü, askı ve rüzgar yükü, askı ve kar yükü uygulanmıştır. Bu yüklemeler altında gruplandırılmış yapı elemanlarına ait elemanların en yüksek performans değerleri Çizelge 2. de verilmiştir.



Şekil 2. Yay çatılı tünel perspektif görünüşü.

Çizelge 2. Farklı yükleme koşullarında yapı elemanlarının en yüksek performans değerleri.

Yükleme Durumu	Kenar Kolon	Orta Kolon	Alt Çubuk	Üst Çubuk	Bağlantı Çubukları	Atkı Çubukları
Askı Yükü	0.450	Stabil Değil	0.505	0.406	0.421	0.085
Askı ve Rüzgar Yükü	0.929	Stabil Değil	0.694	0.496	0.479	0.136
Askı ve Kar Yükü	Stabil Değil	Stabil Değil	2.216	2.457	2.055	0.565

Örtüaltı yapısının statik analizi mevcut hali ile yapıldığında orta kolonların moment etkisi nedeniyle kaldırabileceğinin üzerinde yüklenmiş olduğu görülmüştür. Temel rijitliklerinin artırılması ve temel pabuçlarındaki dönmeyi engellenmesi amacıyla kolonların sürekli temel ile bağlanması gerekmektedir. Projenin bu şekilde revize edilmesiyle 0.15 KN/m^2 askı yükü için yapının güvenli olduğu görülmüştür.

Muğla iklimine ait ekstrem değerlerle yapılan yüklemelerde sistemin stabilitesini sağlamadığı görülmüştür. Bu nedenle yükleme değerleri düşürülerek risk faktörü artırılmıştır. Askı ve rüzgar yükü altında yapının performansını incelemek amacıyla rüzgar yüklemesi en gayri müsaait yönden, uzun kenara dik olarak ve 72 km/saat olacak şekilde uygulanmıştır. Oluşan kuvvetin %80'i dik yüzeylere % 40'ı ise parabolik olarak azaltılarak çatıya etkimiştir. Çatı elemanları kapasitelerinin altında kalsalar da kolonların taşıma gücünün üzerinde yada taşıma gücüne çok yakın yüklendiği görülmüştür. Bunun nedeni kolonlarda meydana gelen momentlerin yaratmış olduğu burkulma etkisi olarak belirlenmiştir. Askı yükleri altında bu şiddette bir rüzgarın yapının stabilitesini bozduğu açıkça görülmüştür.

Yapıya askı (150 N/m^2) ve TS 498/(TSE, 1997a)'e göre kar yüklemesi (750 N/m^2) yapıldığında sistemin çatı elemanlarının da kapasitelerinin üzerinde yüklenmiş oldukları görülmüştür. Askı ve kar yüklerine ilave edilen rüzgar yüklemesiyle basınç çubukları olan kolonlarda ve üst çubuklarda burkulma, çekme çubukları olan alt çubuklar ve atkı çubuklarında sehim kontrollerinde yetersiz kesitler belirlenmiştir.

Proje incelendiğinde temel sisteminin sürekli ve tekil temelin birlikte kullanılması nedeniyle sorunlu olduğu görülmüştür. Tekil temellerdeki tüm kolonlar her yükleme durumu için burkulma yönünden güvensiz çıkmıştır. Buna ek olarak temellerdeki pas payının 1.5 ve 2.5 cm yerine en az 5 cm olarak öngörülmesi gerektiği belirlenmiştir.

Geliştirilmiş Tünel Yapısının Statik Analiz Sonuçları

Yukarıda belirtilen statik analiz sonuçları örnek tünel yapı elemanlarının boyutlarının yetersiz olduğunu göstermektedir. Bu yapısal sorunun çözümü için, özellikle yörede bu tipte inşa edilmiş tünel yapılarının olduğunu göz önünde bulundurarak, yapı elemanlarının kesitlerinin artırılmasından ziyade yapı konstrüksiyonunu ilave elemanlarla güçlendirilmesi esas alınmıştır. Taşıyıcı kolon ilavesi gibi basit yöntemlerden makas tipini değiştirmeye kadar birçok farklı imalat, yapım kolaylığına göre denenmiştir.

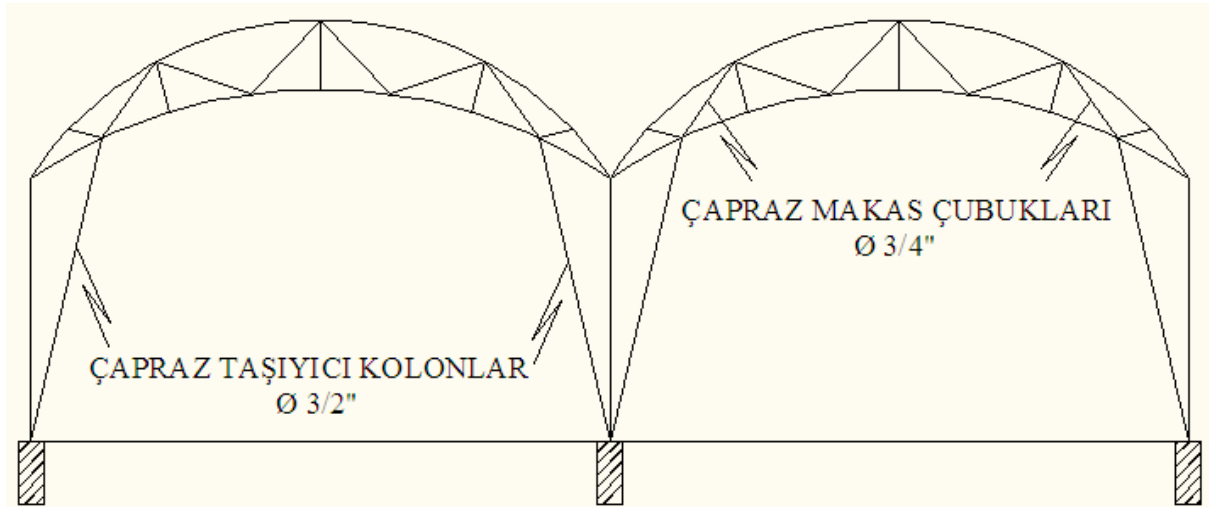
Kar yükünün rüzgar yüküyle birlikte uygulandığı durumda yay makasların taşıma gücü aşılmaktadır. Özellikle iki yayın dikmelerle bağlandıkları bölgelerde kapasitenin üzerine çıkılmaktadır. Bu nedenle yayların birbirlerine daha çok noktadan güç aktarması yönünde bir konstrüksiyon değişikliğine gidilmiş ve mevcut makas sistemi $3/4"$ çaplı galvanizli tesisat borusu çubuklarıyla güçlendirilmiştir.

Kolonların yükünü azaltmak ve makas açıklığını daraltmak amacıyla ilave $3/2"$ galvanizli tesisat borusu çubuklarıyla çapraz taşıyıcılar kullanılmıştır.

Şekil 3.'te konstrüksiyonun yeni durumu görülmektedir. Sistem tüm yükleme durumları ve kombinasyonları için çözülmüş askı yükü, hareketli yük, rüzgar ve kar yükünün birlikte etki ettiği koşulda dahi stabilitesini korumuştur. Geliştirilmiş Tünel Yapısının kolonlarında en yüksek 0.77 diğer çubuk elemanlarında ise en yüksek 0.40 performans değerlerine sahip olduğu görülmüştür.

Yapılan hesaplamalar sonucunda orta aksta yer alan tüm tekil temellerin sürekli bir temelle birleştirilmesi vazgeçilmez bir tadilat olarak ortaya çıkmaktadır. Orta kolonlarda burkulma boyunun büyük olması ve temelin dönmeye izin vermesi nedeniyle rüzgar yükünde dahi kolonların stabilitesi kararsızlaşmaktadır.

Yükleme Durumu	Kenar Kolon	Orta Kolon	Alt Çubuk	Üst Çubuk	Bağlantı Çubukları	Atkı Çubukları
Askı Rüzgar ve Kar Yükü	0.65	0.77	0.35	0.40	0.28	0.11



Şekil 3. Geliştirilmiş yay çatılı tünel kesiti.

SONUÇ

Bu çalışmada, ilgili bakanlık tarafından tipeleştirilmiş olan ve Muğla yöresi koşullarında yaygın olarak uygulanan 500 m²'lik yüksek tünel tipi örtüaltı üretim yapısının askı yükleri, hareketli yükler, rüzgar ve kar yükleri altında güvenlikleri analiz edilmiştir. Bu analizde yüklemeler, söz konusu örnek yapıya bu yüklerin kombinasyonları halinde uygulanmıştır. Deprem yükü ise yapı ekonomisi açısından kar ve rüzgar yüküyle birlikte uygulanmadığı için analiz dışı bırakılmıştır.

Örnek tünel yapısı, Muğla ili iklim parametrelerinin ekstrem değerlerine karşı stabilitesini koruyamamıştır. Risk faktörü artırılarak rüzgar hızı 72 km/saat'ekar yüksekliği de 15 cm'ye düşürüldüğünde dahi yapı güvensiz çıkmıştır.

Örnek yapı geçmeli, cıvatalı ve kısmen de kaynaklı olarak üretilmektedir. Bu nedenle yapı elemanlarının kesitlerinin artırılması ve güçlendirilmesi gibi uygulamalar yapıım tekniği açısından oldukça zordur. Bu gibi durumlarda yapının yeni elemanlarla bütün olarak güçlendirilmesi gerekir. Ancak bu elemanların tünel yapısının kullanımını zorlaştırmayacak şekilde tasarlanması bir zorunluluktur.

Yapıkonstrüksiyonunun önerilen güçlendirmelerle geliştirilmesi halinde güvenli olarak kullanılabilceği görülmektedir. Her bir aks için yaklaşık 12'şer metre 1 1/2" ve 3/4" çapında çelik boru profiller kullanılarak yapı güçlendirmesi tamamlanabilmektedir. 2013 yılı Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Birim Fiyatları dikkate alındığında, söz konusu imalatın her aks için işçilik dahil tutarı ise 210TL olarak belirlenmiştir. Her bir modül 19 akstan oluşmaktadır. Bu nedenle, toplam sistem güçlendirmesi için yaklaşık maliyet 3990TL olarak öngörülmektedir.

Örnek yapı güçlendirmesi genel olarak, öngörülen taşıma gücünü kaybetmiş yada kullanım amacı değişikliği ile proje yükleri artmış yapılar için uygulanan bir yöntemdir. Güçlendirme bedelinin çok daha azı ile ilk yapıım sırasında eleman boyutları artırılabilme taşıma gücü güçlendirme ile elde edilen üzerine çıkarılabilmektedir. Güçlendirme nedeniyle yapıda işlevsel kayıplar ve kullanım kısıtlamaları da yaşanabilmektedir. Bu nedenle proje aşamasında detaylı bir çalışmaya ihtiyaç bulunmaktadır.

Örtüaltı üretim faaliyetlerinin yapıldığı Muğla gibi bir çok bölgede yüksek tünel ve sera gibi örtüaltı üretim yapılarının projelendirilmesi ve inşasında genel olarak kar yükünün ihmal edildiği bilinmektedir. Ancak hem TS 498 ve hem de meteorolojik veriler yapıların kar yükü uygulanarak projelendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Son yıllarda, Muğla yöresinde yaylalarda da örtüaltı yetiştiriciliği yapılmaya başlanmıştır. Bu nedenle, örtüaltı üretim yapılarında statik yönden güvenliği sağlayabilmek için ilgili kurum ve kuruluşlar tarafından önerilen tip projelerde çalışmada öngörülen benzer yapısal düzenlemelerin yapıımına özen gösterilmesi gerekmektedir. Böylece, söz konusu yapılarda olası devamlı deformasyonlardan kaynaklanacak ekonomik kayıplar önenebilecektir.

KAYNAKLAR

[1] Alhamdan, A. M., Al-Helal, I. M. 2009. Mechanical Deterioration of Polyethylene Greenhouses Covering Under Arid Conditions. Journal of Materials Processing Technology, 209: 63–69.

[2] Anonim, 2007. Deprem Yönetmeliği. <http://www.deprem.gov.tr/sarbis/Doc/Yonetmelik/DBYBHY-2007.pdf>. Erişim: Ekim 2013.

[3] Anonim, 2013. <http://www.haberler.com/hortum-ve-su-baskinlarinin-fethiye-ye-maliyeti-5-5-haberi/Erişim: Ekim 2013>.

[4] Çetinel, H. 2000. Polietilen ve Polipropilenin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik 2(3): 79-87.

[5] Düşünceli, N., Çolak, Ö. Ü. 2007. İmalat Yöntemlerinin Yüksek Yoğunluklu Polietilenin Tek Eksenli Çekme Davranışı Üzerindeki Etkileri. 8. Uluslararası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı 7 – 9 Kasım 2007, s. 290-301.

[6] Elsner, Von. B., Briassoulis, D., Waaijenberg, D., Mistrots, A., Zabeltitz, C. V., Gratraud J., Russo G. and Suay-Cortes R. 2000. Review of Structural and Functional Characteristics of Greenhouses In European Union Countries, Part II: Typical Designs. J. Agric. Engng. Res 75:111-126.

[7] Emekli, N.Y., Büyüktaş, D. ve Büyüktaş, K. 2008. Antalya Yöresinde Seracılığın Mevcut Durumu ve Yapısal Sorunları. BATEM Dergisi Derim, 25(1): 26-39.

[8] Ertekin, N. 1991. Alçak Plastik Tünel. Seracılık Araştırma Enstitüsü, Çiftçi Broşürü-2.

[9] Karaman, S., Sözen, Ş. ve Şahin S. 2012. Analysis and Design of Greenhouses With Sap2000. Anadolu Tarım Bilim. Dergisi, 2013, 28(2):87-93.

[10] Kocabaş, S. 2005. Thesis Analysis and Design of Steel Constructions with the Aid of SAP 2000. MSc Thesis. Department of Civil Engineering, Institute of Natural and Applied Science University of Cukurova p.120.

[11] Mercan, Y. 2013. Manisa Yöresinde Örtüaltı İşletmelerinin ve Üretim Sistemlerinin Yapısal Analiz ve Geliştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarımsal Yapılar ve Sulama ABD, Bornova-İzmir, 153s.

[12] MGM, 2013. İlçelere göre meteorolojik istatistikler. <http://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=MUGLA#sfB>, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Erişim: Ekim 2013.

[13] Öneş, A., 1990. Sera Yapım Tekniği. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları 1165, Ders Kitabı No:331.

[14] Öztürk, H. H., 2003. İklim Koşullarının Sera Tasarımına Etkisi. Alatarım Dergisi, 2(2):40-44.

[15] Sevgican, A., Tüzel, Y., Gül, A. ve Eltez, R.Z. 2000. Türkiye'de Örtüaltı Yetiştiriciliği. TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası, V. Türkiye Ziraat Teknik Kongresi, Ankara, s. 679-707.

[16] Şentürk, H., 2012. Seracılık Sektörü. Standard Ekonomik ve Teknik Dergi, TSE, 2012; Yıl 51, Sayı 599.

[17] Topçu, A. 2013. Betonarme 2 Sunular, http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/index_dosyalar/Dersler/Betonarme2/Sunular/Betonarme_2_4.pdf. Erişim: Ekim 2013.

[18] TSE, 1997a. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri. TS 498, İCS 91.040, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 24 s.

[19] TSE, 1997b. Yapıların Projelendirilme Esasları-Taşıyıcı Olan ve Olmayan Elemanlar-Depolanmış Malzemelere-Yoğunluk. TS ISO 9194, İCS 91.040.00, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 12 s.

[20] TSE, 2001. Sera - Terimler ve Tarifler. TS 12741, İCS 65.040.30, Türk Standartları Enstitüsü Ankara, 15 s.

[21] TSE, 2003. Seralar – Tasarım Ve Yapım – Bölüm 1: Ticari Üretim Seraları. TS EN 13031-1, İCS 65.040.30, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 88 s.

[22] TÜBİTAK, 2003. Vizyon 2023 Bilim ve Teknoloji Öngörüsü Projesi. Tarım ve Gıda Paneli Son Rapor, 48 s.

- [23] TÜİK,
2013.<http://tuikapp.tuik.gov.tr/bitkiselapp/bitkisel.zul> Erişim:
Ekim 2013
- [24] Tüzel, Y.,Gül, A., Dařgan, H. Y., Özgür, M.,
Özçelik, N., Boyacı, H.F. ve Ersoy, A. 2005. Örtüaltı
yetiştiriciliğinde geliřmeler. Türkiye Ziraat Mühendisliđi VI.
Teknik Kongresi, 3-7 Ocak, Ankara. s. 609-627.