Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.
Cilt 22, No 1, 199-205, 2007

J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.
Vol 22, No 1, 199-205, 2007

HAFİF YAPI TASARIMINDA PULTRUZYON METODU İLE ÜRETİLEN CAM ELYAF TAKVİYELİ PLASTİKLERİN KULLANILMASI

Mehmet SARIBIYIK
Yapı Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Sakarya Üniversitesi, 54187 Kampus, Adapazarı
mehmets@sakarya.edu.tr

(Geliş/Received: 31.01.2006; Kabul/Accepted: 19.06.2006)

ÖZET

Türkiye, dünyanın en etkin deprem kuşaklarından olan Kuzey Anadolu fay hattının üzerinde yer almaktadır. Bundan dolayı depreme dayanıklı yapı araştırmaları Türkiye ve başka yerlerde çok önem kazanmıştır. Binalara deprem kuvvetinin etkisi Newton'un ikinci kanunundan hareketle, F = m × a (kuvvet = kütle × ivme) kolayca hesaplanabilir. Bu durumda deprem hareketi olan ivmenin mevcut teknoloji ile %100 kontrol altına alınabilmesi mümkün değildir. Ancak; bina kütlelerinin hafifletilmesi ile doğru orantılı olarak yapıya etkiyen dinamik kuvvetinde azaltılması sağlanabilir. Bu durum dikkate alınarak, depreme dayanıklı konut ihtiyacını karşılamak için alternatif teknolojik ürünler sürekli araştırılmaktadır. Son teknoloji ürünlerinden biri de, geleneksel malzemelere göre daha hafif, korozyon dayanımı ve dayanım/yoğunluk oranı yüksek, pultruzyon metodu ile üretilen Cam Elyaf Takviyeli Plastik (CTP) malzemelerdir. Bu çalışmada; pultruzyon metodu ile üretilmiş CTP profillerden oluşturulan iki katlı yapı sistemi bilgisayar ortamında modellenerek dinamik ve statik yükler altındaki davranışları çelik yapı sistemi ile karşılaştırılmıştır. Modelde kullanılan CTP profillere ait mekanik özellikler uluslararası düzeyde kabul edilen test metotları kullanılarak belirlenmiştir. Çelik yapıya göre rijitliği daha az olan CTP profillerle oluşturulan modele, stabilite çaprazları eklenerek yapının yaklaşık birinci doğal titreşim periyodunun düşürülmesi ve rijitleştirilmesi sağlanmıştır. CTP profillerin özgül ağırlığının çeliğe göre düşük olmasından dolayı, en önemli taşıyıcı eleman olan kolonlara deprem esnasında gelen kesme kuvvetinin önemli ölçüde azalması sağlanmıştır. Böyle bir avantaja sahip CTP'nin deprem bölgelerinde, özellikle alüvyon zeminli bölgelerde, kullanımı önem kazanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Cam Elyaf Takviyeli Plastik, hafif yapı, pultruzyon metodu, dinamik analiz.

DESIGN OF LIGHT-WEIGHT STRUCTURE BY PULTRUDED GLASS REINFORCED PLASTIC

ABSTRACT

Turkey is located one of the very active earthquake zone named as North Anatolian fault. Therefore, earthquake resisting building investigations are very important subject for Turkey end elsewhere. The effect of earthquake force on the building may be easily obtained by Newton's Second law as F = m × a (force = mass × acceleration). The earthquake acceleration cannot be controlled 100% with current Technology. Hence, the total mass of structure should be reduced to receive less earthquake force due to lateral force of earthquake. Research activities have been taking on place many ports of the world for new earthquake resistant construction materials in order to produce more mass less buildings. One of the new technological materials is Pultruded Glass Fibre Reinforced Plastic (GRP) materials. In this study, two stories pultruded GRP construction has been modeled and compared with the steel structure, which are under the effect of dynamic and static loads. Mechanical properties of the GRP sections have been determined according to the international standards to use in the numerical model. In the model that developed using the pultruded GRP profiles, which is less rigid when compared with steel, the truss sections have been mounted to solve the rigidity and first natural vibration period problems. Applied shear force during the earthquake to column which is the most important part of the structure can be reduced because of the less density of the GRP comparing with steel. Therefore; the GRP materials strongly recommended using in the earthquake region, especially alluvial soil region due to the situ amplification problems during the earthquake.

Keywords: Glass Reinforced Plastic, light-weight building, pultrution method, dynamic analysis.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

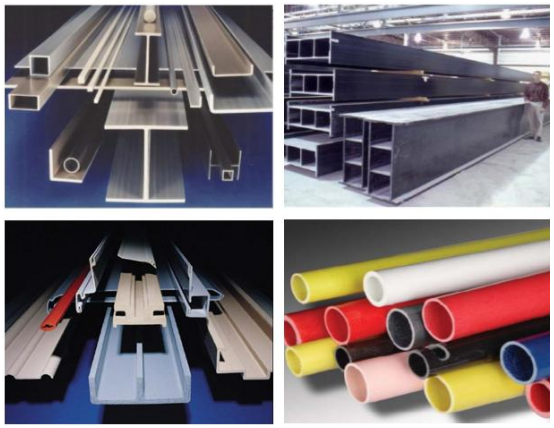
Kompozit malzeme, binlerce yıldır insanların farkında olarak yada olmayarak, sorunların çözümü için kullandıkları, iki veya daha fazla sayıdaki farklı özelliklere sahip malzemelerin mikro veya makro seviyede birleştirilmesiyle elde edilen yeni bir üründür [1]. Örneğin Mısır'da MÖ. 2800'lü yıllarda lamine edilmiş tahta parçaları, orta doğuda fazladan eğilme dayanımı sağlamak amacıyla ok yayları üzerine farklı lif yönleri oluşturacak şekilde konulan malzemeler bulunmuştur. Bu bağlamda insanoğlu, kullandığı malzemeleri günün koşullarına göre geliştirme çabasında olduğundan, sürekli yeni arayışlar içinde olmuştur. İşte bu durumun bir sonucu olarak, ilk modern sentetik plastiklerin 1900'lü yılların başlarında geliştirilmesinin ardından, 1930'lu yıllarda plastik malzemelerin özellikleri diğer malzeme çeşitleri ile boy ölçüşür düzeye gelmiştir.

Bir çok üstün özelliklerinin yanında sertlik ve dayanıklılık özelliklerinin düşük olması plastik malzemelerin güçlendirilmesi için çalışmalar yapılmasına neden olmuştur. Bu eksikliğin giderilmesi amacıyla 1950'lerde polimer esaslı kompozit malzemeler geliştirilmiş ve değişik türde matris ve takviye elemanı kullanılarak farklı yapıda kompozitler üretilmiştir. En çok kullanılan kompozit malzeme kombinasyonları; cam elyaf takviyeli plastik, karbon elyaf takviyeli epoksi ve aramid elyaf takviyeli epoksi bileşenleridir [2, 3].

Cam Elyaf Takviyeli Plastikler (CTP) temel olarak kalıp görevi gören reçine içine gömülmüş sürekli veya kırpılmış cam elyaflardan oluşmaktadır. CTP'ler çeşitli üretim metotları kullanılarak üretilebilmektedir. Bu metotlardan pultruzyon (profil çekme) metodu, CTP kalıplamasında, özellikle inşaat sektöründe hem ana malzeme hem de tamamlayıcı malzeme olarak kullanılan profil türündeki ürünlerin yapımında kullanılmaktadır [3, 4]. Profil çekme metodu ile üretilen kutu, boru, 'I', 'T', 'L', ve 'U' profillerinin yanı sıra sabit şekle sahip olmayan profillerin de üretimi rahat bir şekilde yapılabilmektedir (Şekil 1).

CTP malzemenin üstün mekanik dayanımının yanısıra, hafifliği, korozyon dayanımı, düşük yoğunluk ve dayanım/yoğunluk oranının yüksekliği, düşük ısı iletkenliğine sahip olması, uzun yıllar bakım ve boya gibi ek bir hizmete ihtiyaç duymaması, üretimin düşük iş gücü ile yapılabilir olması, kolay kesilebilir ve işlenebilir olması gibi özelliklerinden dolayı CTP profilleri inşaat sektöründe birçok malzemenin alternatifi olma yönünde hızla ilerlemektedir. Bütün bu üstün özelliklerinden dolayı inşaat sektöründe birincil (taşıyıcı) eleman olarak kullanılmasının yolları aranmıştır. Başlangıç aşamalarında fazla yüke maruz kalmayan küçük yapılar (Şekil 2) daha sonra ise daha kapsamlı yapılarda kullanılma çalışmaları devam etmiştir [5].

Bu çalışmada, CTP malzemelerin inşaat sektöründe özellikle hızlı ve hafif yapı üretimi gerektiren durumlar için kullanılabilirliliğini araştırmak ve bu malzemelerin statik ve dinamik yükler altındaki davranışını incelemek amaçlanmıştır. Bu nedenle, tasarlanan model yapı için ön görülen CTP profillerin temel mekanik özelliklerini elde etmek için çekme deneyleri yapılmış ve bu özelliklerle birlikte literatürden alınan özellikler kullanılarak statik ve dinamik yüklere karşı dayanımı incelenmiştir. CTP profillerden üretilmiş modele ait sonuçlar çelik konstrüksüyon çözümleri ile karşılaştırılarak yeni tasarımlar oluşturulmuştur.



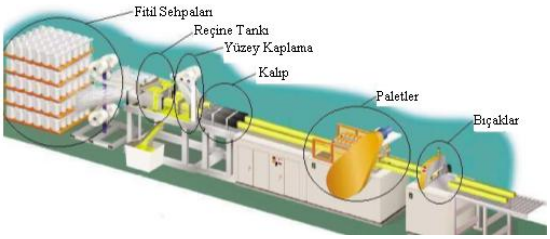
Şekil 1. Pultruzyon metodu ile üretilmiş CTP profil örnekleri [5] (Examples of pultruded GRP profiles [5])

2. PULTRUZYON METODU İLE CTP ÜRETİMİ (MANUFACTURING OF GRP USING PULTRUTION)

Pultruzyon metodu dışındaki üretim yöntemleriyle çeşitli elyaf türleri (karbon, aramid vb.) kullanarak çeşitli otomobil parçaları, uçak aksamları ve inşaat sektöründe yardımcı veya dekoratif amaçlı elemanlar yapılabilmektedir. Fakat bu yöntemler ile üretilen kompozitlerin inşaat sektöründe birincil eleman olarak kullanılması mümkün olmamaktadır. Çünkü bu yöntemlerle üretilen malzemeler, yapıda taşıyıcı olarak kullanılan elemanların karşılaması gereken çekme, basma veya kesme kuvvetlerine karşı gereken mukavemeti gösterememektedirler. Bu sorunu çözebilmek için yeni bir kompozit üretim yöntemi olan pultruzyon metodu geliştirilmiştir. Pultruzyon yöntemi, malzemenin kalıp boyunca çekilerek üretilmesi yöntemidir (Şekil 3). Pultruzyon hattının çalışma prensibi; makineden ayrı



Şekil 2. CTP profillerle üretilmiş hafif yapı örnekleri [5] (Examples of lightweight structure constructed using GRP profiles [5])



Şekil 3. Pultruzyon makinesinin taslak gösterimi [5] (Pultrution machine configurations) [5]

bir bölümde bulunan elyaflar bobinlerden çekilir ve ilk olarak matriks malzemesi olan reçine içinden geçerek ön kalıp olarak adlandırılan bölümden geçerken içlerindeki hava ve fazla reçineden arınır. Ön kalıptan çıkan malzemenin kullanım yerinde atmosfer ve diğer dış etmenlerden korunması için esas kalıba girmeden önce yüzeyi kaplanır. Kalıptan çıkan profiller paletler tarafından çekilmesi suretiyle sistemin sürekliliği sağlanır ve son işlem olarak istenen uzunluğa gelen malzemenin bıçaklar vasıtası ile kesilmesi sonucu işlem tamamlanmış olur.

Boyuna mukavemetin yüksek olduğu bu üretim şeklinde malzemenin enine mukavemetini de artırmak amacı ile özel olarak düğümlü üretilmiş fitil (keçe), dokunmuş ya da farklı eksenel yönlere sahip cam kumaşlar ile kaplanır (Şekil 4). Bunların dışında da yüzey düzgünlüğünü ve atmosferik etkileri azaltmak için termoplastik yüzey tülü çok kullanılan takviye malzemesidir. Bu metodun önemli özelliklerinden biri de kullanılan reçineye istenilen özellikleri geliştirmek amacı ile dolgu malzemeleri katılabilmesidir. Maliyeti düşürmek için 3-6 mikron boyutunda olan kalsiyum karbonat (kalsit), alev dayanımı istendiğinde alüminyum hidroksit, korozyon dayanımı istendiğinde kil, elektriksel izolasyon istendiğinde alüminyum trihidrat gibi dolgu maddeleri kullanılabilmektedir.

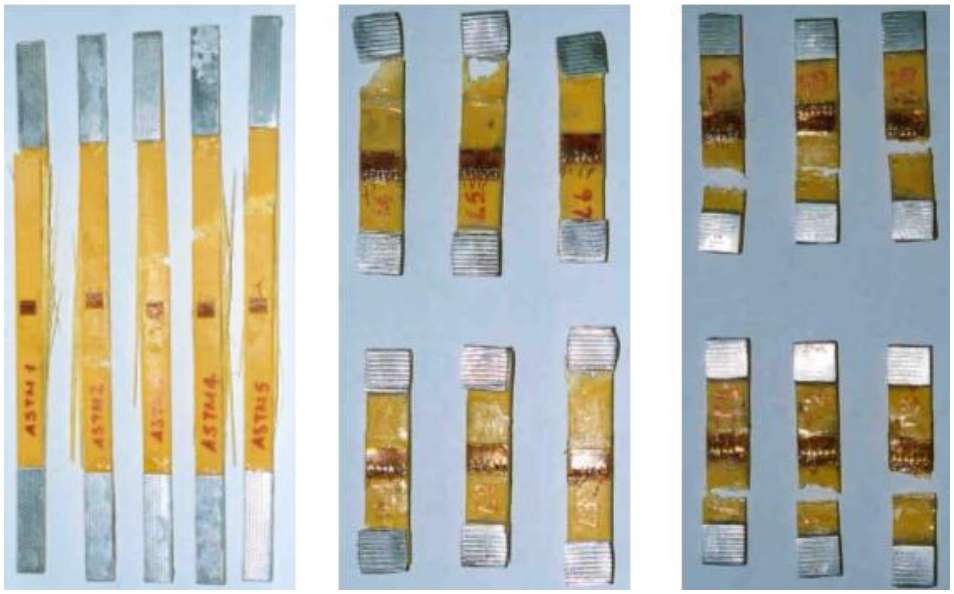


Şekil 4. Pultruzyon metodu ile üretilmiş profil detayı [5] (Details of profile manufactured by Pultrution method [5])

Pultruzyon metodunda kullanılan reçinelerden aranan en önemli özellik, çekme hızına ve yüksek düzeyde tutabilecek reaktiviteye sahip olabilmesi ve iyi bir ısınmayı sağlayabilecek düşük viskoziteye veya seyreltilebilme olanağına sahip olmasıdır. Bu bağlamda kullanılan reçinelerin %90'ı polyester ve vinil reçinelerdir. Bunların dışında fenolik reçineler pultruzyon yöntemi ile üretilen ürünlere yanmazlık ve düşük duman yayma özellikleri; epoksiler yüksek mukavemet, daha yüksek ısı dayanımı ve elektriksel özelliklerde yüksek performans sağlar [7].

3. ÇEKME TEST KUPONU İLE CTP PROFİLLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ (DETERMINATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF GRP PROFILE USING TENSILE COUPON)

Pultruzyon metodu ile üretilen CTP profillere ait mekanik özelliklerin (elastisite modülü, Poisson oranı ve çekme gerilmesi) belirlenmesi için Standard ASTM D3039 numuneler (250mm×15mm) kutu profillerden fiber yönlerine paralel olacak şekilde kesilmiştir. Numunelerin çekme test makinesinin çenelerinden zarar görmemesi için uçlarına 1mm kalınlığında 15mm× 50mm'lik alüminyum plakalar yapıştırılmıştır (Şekil 5). CTP profillerin enine olan mekanik özelliklerini belirleye-



Şekil 5. Standart ve kısa numunelerin kopma şekilleri (Standard and short tensile coupons failure modes)

Tablo 1. Pultruzyonla üretilmiş CTP profile ait mekanik özellikleri (Mechanical properties of Pultruded GRP profile)

Numune Çeşidi	Elastisite Modulü (kN/mm^2)	Polinomial $E^{tanjant} = \partial\sigma/\partial\varepsilon$ (kN/mm^2)	Poisson Oranı (ν)	Gerilme (N/mm^2)
Fiber yönünde ASTM D3039	26,7	$\sigma = -179{,}19\varepsilon^2 + 27{,}55\varepsilon$ $E_x = -358{,}38\varepsilon + 27{,}55$	0,29	388
Fiber yönünde kısa kupon	26,4	$\sigma = -365{,}82\varepsilon^2 + 27{,}00\varepsilon$ $E_x = -731{,}64\varepsilon + 27{,}00$	0,30	161
Fiber yönüne dik kısa kupon	9,2	$\sigma = -876{,}96\varepsilon^2 + 11{,}25\varepsilon$ $E_y = -1753{,}92\varepsilon + 11{,}25$	0,15	41

bilmek için eşdeğer kısa kuponlar (47,5mm×10mm) standart ASTM D3039 kuponları ile kıyaslayabilmek için hazırlanmıştır. Aynı şekilde numune uçlarının zarar görmemesi için daha küçük (1mm×9mm×10mm) alüminyum levhalar yapıştırılmıştır (Şekil 5). Bunlara ilave olarak malzemenin enine mekanik özelliklerinin belirlenmesi için kutu profillerden fiber yönlerine dik olacak şekilde numuneler kesilip uç kısımlarına alüminyum plakalar yapıştırılmıştır [8].

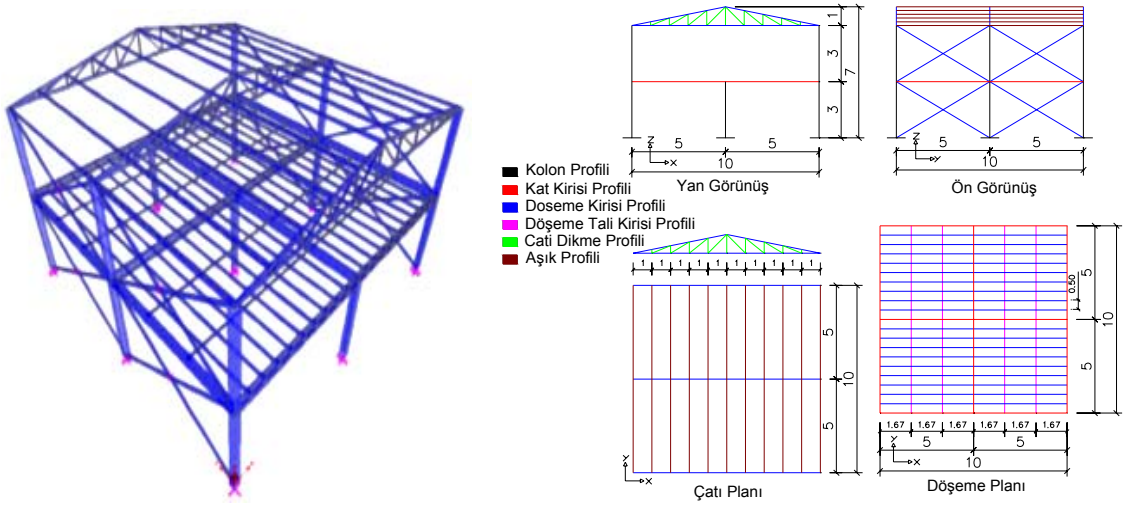
Malzeme mekanik özelliklerini belirleyebilmek için her gruptan 6 adet olmak üzere toplam 18 adet numune test edilmiştir. Üniversal çekme test makinesinde iki yönde hareket sabitliği veren çeneler arasına yerleştirilmiş numunelere 2mm/sn hızla eksenel çekme kuvveti uygulanmıştır. Numune yüzeylerine 3 kanala sahip (-45°, 0°, +45°) straingage yapıştırılmıştır. Tüm numunelere kopma anına kadar çekme yükü uygulanarak maksimum çekme gerilmeleri ve herhangi bir akmanın olup olmadığı kontrol edilmiştir. Bilgisayar sistemine bağlı elektronik veri kaydedici aracılığı ile saniyede bir okumaya tekabül eden yük ve brim deformasyonlar kaydedilmiştir.

Elde edilen veriler ile pultruzyon metodu ile üretilmiş CTP malzemeye ait elastisite modülleri, Poisson oranı ve çekme gerilmeleri hesaplanmıştır. Lifler doğrultusundaki ve liflere dik doğrultudaki elastisite modüller, maksimum gerilmeler ve Poisson oranları hesaplanmıştır. Ayrıca malzemede akmanın olmadığı tespit edilmiştir. Mekanik özelliklerin aritmetik ortalamaları Tablo 1'de özetlenmiştir.

4. MODEL YAPININ TASARIMI (MODELLING OF MODEL CONSTRUCTION)

Yapılar inşa edilirken dinamik ve statik yüklere karşı dayanım, estetik, hafiflik ve inşaat süresinin minimum olması gibi özellikler taşıması beklenmektedir [9-11]. Bu aşamada, bu nitelikleri içeren çelik ve CTP profillerini tek başlarına kullanarak, aynı zemin, geometri ve yük değerleri ile bir model yapı projelendirilmiş (Şekil 6) ve SAP2000 programı kullanılarak analizleri yapılmıştır.

Hesaplarda kullanılan çelik malzemeye ait mekanik özellikler TS648 [12] ve ilgili kaynaklardan [13], CTP malzemeye ait mekanik özellikler yapılmış olan çekme testlerinden (elastisite modülü, Poisson oranı ve çekme gerilmesi) ve ilgili kaynaklardan [3, 14] alınarak Tablo 2'de verilmiştir. Bilgisayar ortamında modellenen yapının genel özellikleri Afet Bölgeleri'nde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik baz alınarak 1. derece deprem bölgesi (A_0=0,40) zemin sınıfı Z4 (T_A=0,2;0 T_B=0,90), yaklaşık birinci doğal titreşim periyodu 0,301 ve ivme spektral katsayısı 0,4×9,81×1/5 = 0,7848 olarak alınmıştır [11]. Profil ebat ve kesitleri Tablo 3'te, yük miktarları TS498 [15]'den alınarak Tablo 4'te verilmiştir. Bu değerler aynı kalmak şartı ile model yapının hem çelik hem de CTP malzemesi kullanılarak dinamik



Şekil 6. Model yapının perspektif ve planları (birimler metre cinsindendir) (Model structure perspective and plans)

Tablo 2. Modellerde kullanılan malzeme özellikleri (Material properties used in the models)

	Çelik	CTP
Birim Hacim Ağırlık, γ (kN/cm^3)	$7{,}697\times10^{-5}$	$2{,}454\times10^{-5}$
Elastisite Modülü E_x (kN/cm^2)	20593,97	2670,35
Elastisite Modülü $E_{y,z}$ (kN/cm^2)	20593,97	919,96
Poisson Oranı $\nu_{x,y,z}$	0,30	0,29
Isı Genleşme Katsayısı ($T_{x,y,z}$) (ºC/cm)	$1{,}17\times10^{-5}$	2×10^{-5}
Kayma Modülü $G_{x,y,z}$ (kN/cm^2)	7920,76	380,01
Çekme Gerilmesi (kN/cm^2)	29,42	38,80

Tablo 3. Malzeme ebat ve kesit tipleri (Material size and shapes)

Malzeme Adı	Malzeme Ebadı (mm)	Malzeme Tipi
Kolon	20×20×1	Kutu Profil
Kat Kirişi	30×15×1	Kutu Profil
Döşeme Kirişi	10×6×0,5	Kutu Profil
Döşeme Tali Kirişi	6×6×0,3	Kutu Profil
Stabilite Çaprazı	10×6×0,5	Kutu Profil
Çatı Üst Başlığı	10×6×0,5	Kutu Profil
Çatı Alt Başlığı	10×6×0,5	Kutu Profil
Çatı Dikme Elemanı	5×5×0,5	Kutu Profil
Çatı Diyagonal Elemanı	5×5×0,5	Kutu Profil
Aşık	10×6×0,6	Kutu Profil

Tablo 4. Uygulanan yük miktarları (Applied loads)

Yük Cinsi	Yüzey Alanına Gelen Yük Miktarı (kN/m^2)
Hareketli Yük (Döşeme için)	3,43
Döşeme (Ölü Yük)	0,49
Kar (Çatı için Hareketli Yük)	1,03
Çatı Kaplaması (Ölü Yük)	0,098
Rüzgâr Yükü	0,588
Zati Yük	Malzemeye Göre
Deprem Yükü	Tablo 5

analizleri yapılmıştır. Analiz için oluşturulan modellerde birleşim noktaları tamamen rijit kabul edilmiştir.

Deprem yükü miktarları, ABYYHY'te [11] verilen Spektrum Katsayısı değerlerinden yararlanılarak $(T > T_B) \Rightarrow S(T) = 2{,}5(T_B / T)^{0{,}8}$ denklemi yardımı ile hesaplanmıştır. Burada; S(T) Spektrum Katsayısı, T Bina Doğal Titreşim Periyodu ve T_B Spektrum Karakteristik Periyodu'dur.

Yapılan hesaplamalar sonucunda ABYYHY [11] göz önüne alınarak yükler Tablo 5'te gösterildiği gibi kombine edilmiş ve SAP2000 programında, yapıya yüklerin kombinasyonlar halinde etki etmeleri sağlanmıştır.

Tablo 5. Uygulanan deprem yükü miktarları(Applied earthquake loads)

Kombinasyon Adı	Kombinasyon Şekli
Kombinasyon 1	Zati×1+Hareketli×1+Deprem×1
Kombinasyon 2	Zati×1+Hareketli×1+Deprem×-1
Kombinasyon 3	Zati×1+Hareketli×1+Rüzgar×0,5
Kombinasyon 4	Zati×1+Rüzgar×1+Hareketli×0,5

Analiz sonuçları incelendiğinde, yapı elemanları maksimum yükleri aynı kombinasyon ile aldıkları yani aynı zemin koşullarında, aynı geometride, aynı yük değerleri ve yük kombinasyonlarında yapılan yapıların benzer davranışlar gösterdikleri ortaya çıkmıştır (Tablo 6).

Ancak, yapının pultruzyonla üretilmiş CTP ile imal edilmesi zati ağırlığın düşmesine, bu da en önemli taşıyıcı eleman olan kolonlara, deprem esnasında gelen kesme kuvvetinin (V) yaklaşık %38'lik azalmasını sağlamıştır (Tablo 6). Diğer yandan, elde edilen yük bilgileri ile yapı elemanlarının özelliklerine göre yeterli kesite sahip olup olmadıkları ilgili standartlarla [11-16] karşılaştırılmış ve ortaya çıkan sonuçlar Tablo 7'de özetlenmiştir.

Oluşturulan modelde yapı elemanlarının yeterli kesitlere sahip olup olmadığı ile ilgili yapılan malzeme tahkiklerinde sadece 4 adet CTP elemanında sorunla karşılaşılmıştır (Tablo 7). CTP malzemenin yapısından kaynaklanan kesme kuvvetlerine karşı dayanım zayıflığını ortadan kaldırmak için sorunun tespit edildiği kolon ve kirişlerde kesit ve/veya kesit alanı değiştirilmesi yoluna gidilmiştir. Yapılan bu değişiklikler dışında

Tablo 6. Örnek bir yapı elemanına ait yük değerleri (Laod values of construction elements)

	Kolonlar			
Yük Cinsi	Yük Miktarı		Kolon No	
	Çelik	GRP	Çelik	GRP
Eksenel yük (kN)	114,11	116,38	K.3	K.3
Kesme kuvveti (kN)	114,52	43,39	K.2	K.2
Moment (kN.cm)	17792	8987	K.2	K.2

Tablo 7. Model yapı tahkik sonuçları (Model construction outcomes and comparison)

	Basınç Çekme		Kesme		Eğilme		Sehim	
	Çelik	CTP	Çelik	CTP	Çelik	CTP	Çelik	CTP
Kolon	Ok	Ok	Ok	Fa				
Kat Kirişi			Ok	Fa	Ok	Ok	Ok	Ok
Döşeme Kirişi			Ok	Ok	Ok	Ok	Ok	Ok
Döşeme Tali Kirişi			Ok	Fa	Ok	Ok	Ok	Ok
Çapraz	Ok	Ok						
Çatı Üst Başlığı	Ok	Ok						
Çatı Alt Başlığı	Ok	Ok						
Çatı Dikme	Ok	Ok						
Çatı Diyagonal	Ok	Ok						
Aşık					Ok	Ok	Ok	Fa

Ok: Yeterli Kesit Fa: Yetersiz Kesit

yapının geometrik şekli, yük değerleri, zemin cinsi ve uygulanan yük kombinasyonları aynı kalmak şartı ile tekrar düzenlenerek tahkikler yapılmıştır. Yapılan çözümlemede yapı elemanlarının kesitleri güvenlik tahkiklerinden geçmeyi başarmışlar ve modernizasyon sonunda elemanlarda karşılaşılan yetersiz kesit problemi ortadan kaldırılmıştır.

Model yapı üzerinde yapılan incelemede, 1998 Deprem Yönetmeliğinin ön gördüğü ve Tablo 3'te de belirtilen geometriye sahip yapının olması gereken Yaklaşık Birinci Doğal Titreşim Periyodunun tahkikinde çelik ile imal edilmiş model yapının birinci doğal titreşim periyodu 0,38 iken CTP malzemesi için 0,88 olarak hesaplanmıştır. Görüldüğü üzere çeliğin mekanik özelliklerinden dolayı güvenli bölgede kalırken CTP mevcut dizayn ile olumsuz bir durum sergilemektedir. Bu karşılaştırmalar sonucunda, CTP'nin yapısal özelliğinin ortotrop, çelik malzemenin ise izotrop olmasından dolayı kesme kuvvetlerinde görülen dayanım zayıflığı ve malzeme özelliklerine uygun yeni dizayn geliştirilmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

5. MODEL YAPININ MODERNİZE EDİLMESİ (MODERNIZATION OF MODEL CONSTRUCTION)

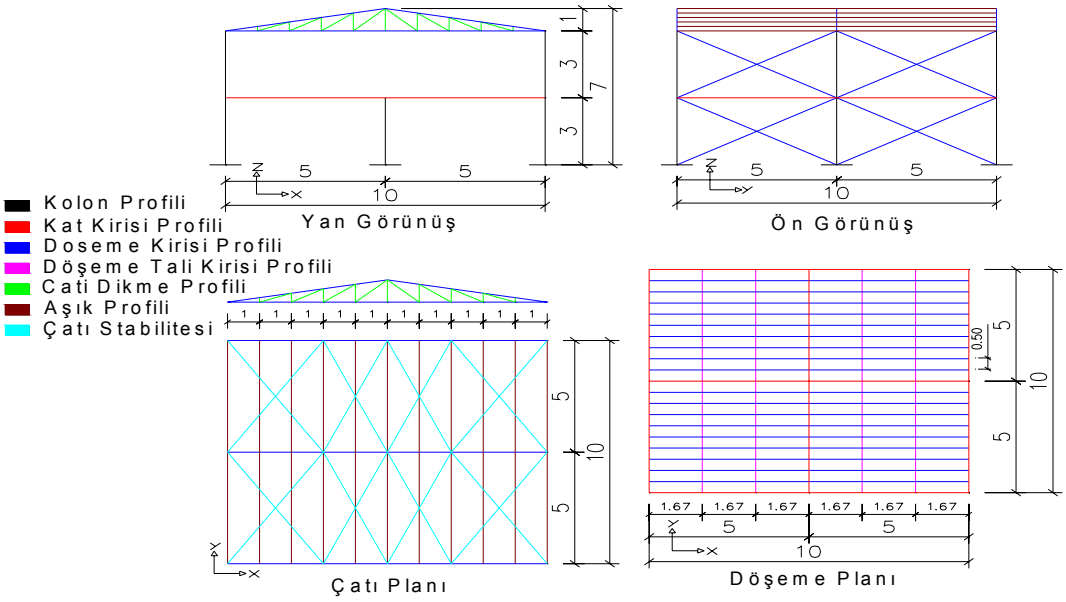
Model yapıda tespit edilen ilk sorun olan CTP malzemenin yapısından kaynaklanan kesme kuvvetlerine karşı dayanım zayıflığının çözümü için sorunun tespit edildiği kolon ve kirişlerde kesit ve/veya kesit alanı değiştirilmesi yoluna gidilmiştir. Yapılan (kolon ve kirişlerdeki kesit değişikliği ve çatıya konan çaprazlar dışında) sınırlı değişiklikler dışında yapının geometrik şekli, yük değerleri, zemin cinsi ve uygulanan yük kombinasyonları aynı kalmak şartı ile yapı simüle edilerek çözümü yapılmıştır.

Pultruzyon yöntemiyle üretilmiş CTP profiller ile yapılan model yapıda gözlenen titreşim periyodundaki sorunu çözmek için Şekil 7'de görüldüğü gibi çatıya çaprazlar yerleştirilmiştir. Böylece yapılan çözümlemelerde görüldüğü üzere yapı elemanları güvenlik tahkiklerinden geçmeyi başarmışlardır. Ayrıca, modernize edilen yapının birinci doğal titreşim periyodu 0,37 olarak hesaplanmış ve bu değer ile yapı güvenli bölgede kalmıştır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER (RESULTS AND RECOMMENDATIONS)

İnşaat sektöründe her geçen gün yeni bir malzeme veya mevcut malzemelerin iyileştirilmesi için sayısız çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada; konut ve acil durumlarda (deprem, sel vb. doğal afetler sonrası) ihtiyaca cevap verebilecek hafif, güvenilir ve sağlam malzemelerden biri olan pultruzyon metodu ile üretilmiş CTP profillerin alternatif bir çözüm olma durumu incelenmiştir. CTP malzemeden üretilmiş model yapıya ait sonuçlar çelik konstrüksüyon çözümleri ile karşılaştırılarak hafif malzeme ile yapı tasarımı incelenmiştir. Buna göre:

- Yapı elemanlarının yeterli kesitlere sahip olup olmadığı ile ilgili yapılan malzeme tahkiklerinde, sadece 4 CTP elemanında sorunla karşılaşılmıştır. CTP malzemenin yapısından kaynaklanan kesme kuvvetlerine karşı dayanım zayıflığını ortadan kaldırmak için sorunun tespit edildiği kolon ve kirişlerde kesit ve/veya kesit alanı değiştirilmesi yoluna gidilmiştir. Yapılan çözümlemede yapı elemanlarının kesitleri güvenlik tahkiklerinden geçmeyi başarmışlardır. Böylece modernizasyon sonunda yetersiz kesit problemi ortadan kaldırılmıştır.
- Model yapının dinamik yükler altındaki davranışını incelemek amacıyla, çelik ve CTP yapının yaklaşık birinci doğal titreşim periyotları, ABYYHY kapsamında yapılan tahkiklerde çelik yapının yaklaşık



Şekil 7. Modernize edilmiş model yapı planları (Modified model structure plans)

birinci doğal titreşim periyodunun uygun olduğu, fakat CTP ile oluşturulan modelin ise daha rijit bir yapıya sahip olması gerektiği tespit edilmiştir. Bu kapsamda CTP model yapı modernize edilirken çatı makaslarına, stabilite çaprazları eklenerek yapının yaklaşık birinci doğal titreşim periyodunun düşürülmesi ve rijitleştirilmesi sağlanmıştır.

- Pultruzyon metodu ile üretilmiş CTP profillerin özgül ağırlığının çeliğe göre yaklaşık %31 düşük olması, CTP ile oluşturulan model yapıdaki zati ağırlığının önemli ölçüde azalmasını sağlamıştır. Böylece, en önemli taşıyıcı eleman olan kolonlara deprem esnasında gelen kesme kuvvetinin yaklaşık %38 azaldığı ortaya çıkmıştır. Böyle bir avantaja sahip hafif yapı malzemesi olan CTP'nin deprem bölgelerinde, özellikle alüvyonlu zemine sahip bölgelerde, kullanımı önem kazanmaktadır. Bilindiği gibi alüvyonlu zeminler yumuşak zeminlerdir ve bu tür zeminlerin deprem etkisini artırma eğilimleri vardır. Ayrıca, CTP malzemenin hafifliği yanında, korozyona dayanımı, imalatının ve yerinde aplikasyonunun kolay olmasından dolayı, afet bölgelerinde veya acil gereksinim duyulan hızlı, dayanıklı ve sağlıklı yapılar için önemli bir alternatiftir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Şahin, Y., **Kompozit Malzemelere Giriş**, Gazi Yayın Evi, Ankara, 2000.
2. Mallick, P.K., **Composite Engineering Handbook**", Marcel Dekker, New York, 1997.
3. EUROCOMP, **Structural Design of Polymer Composites - EUROCOMP Design Code and Handbook**, London, Edited by Clarke, J. L., Chapman and Hall, 1996.
4. İnternet sitesi, **www.sisecam.com.tr**
5. İnternet sitesi, **www.strongwell.com**
6. Holmes, M. ve Just, D.J., **GRP in Structural Engineering**, Applied Science Publishers Ltd, New York and London, 1983.
7. Arıkan, T.A., **CTP Malzemesinin Yapısal Strüktürde Kullanılmasına Yönelik Sorunlar Ve Strüktürel Davranışının İrdelenmesi**, Yüksek Lisans Tezi, GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004.
8. Gosling, P.D and Sarıbıyık, M., "A Non-Standard Tensile Coupon for Fibre Reinforced Plastic". **Journal of Material in Civil Engineering**, Vol. 15, No 2, 108-117, 2003.
9. Mertol A. ve Mertol H.C., **Deprem Mühendisliği Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı**, Birsen Yayın Evi, İstanbul, 2002.
10. Gönenç, K., **Mimari Proje Tasarımında Depreme Karşı Yapı Davranışının Düzenlenmesi**, Teknik Yayınevi, Ankara, 2000.
11. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY), **1997 Deprem Yönetmeliği**, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara, 1997.
12. TS 648, **Çelik Yapılar Hesap ve Yapım Kuralları**, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1982.
13. Deren, H. Uzgider, E. ve Piroğlu, F., **Çelik Yapılar**, Çağlayan Kitabevi, İstanbul, 2002.
14. **Extern Design Manuel, Strongwell**, Corporation, Biristol Virginia, USA, 1998.
15. TS 498, **Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri**, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1997.
16. Fiberline Composites A/S, **Design Manuel**, Kolding, Denmark, 2003.