

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEKSTİL MÜHENDİSLİK ANABİLİM DALI

ÜÇ BOYUTLU ORTHOGONAL DOKUMA KUMALARIN
SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİLE MODELLENMESİ VE
ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEHMET KORKMAZ

DENİZLİ, MAYIS - 2014

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEKSTİL MÜHENDİSLİK ANABİLİM DALI**



**ÜÇ BOYUTLU ORTHOGONAL DOKUMA KUMALARIN
SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİLE MODELLENMESİ VE
ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MEHMET KORKMAZ

DENİZLİ, MAYIS - 2014

KABUL VE ONAY SAYFASI

Mehmet KORKMAZ tarafından hazırlanan “ÜÇ BOYUTLU ORTOGONAL DOKUMA KUMAŞLARIN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE MODELLENMESİ VE ANALİZİ” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 02.06.2014 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman
Yrd. Doç. Dr. Güngör DURUR



Üye
Prof. Dr. Ayşe OKUR



Üye
Doç. Dr. Ali Haydar KAYHAN



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 02/07/2014 tarih ve ..28/17.... sayılı kararıyla onaylanmıştır..



Prof. Dr. Orhan KARABULUT

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.



Mehmet KORKMAZ

ÖZET

ÜÇ BOYUTLU ORTHOGONAL DOKUMA KUMALARIN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE MODELLENMESİ VE ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MEHMET KORKMAZ

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
TEKSTİL MÜHENDİSLERİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: YRD. DOÇ. DR. GÜNGÖR DURUR)

DENİZLİ, MAYIS - 2014

Üç boyutlu dokuma kumaları; savunma, havacılık, medikal gibi birçok farklı, sanayi dalında kullanılan alan, bulabilmektedir. Üç boyutlu dokuma kumaları, sonlu elemanlar metodu gibi yöntemler ile analiz edilerek özelliklerinin tahmin edilebilmesi sağlanmaktadır. Kumaların özelliklerinin tahmin edilmesi, karar verme amaçlarında üretici ve kullanıcılar için avantajlar sunmaktadır. Tez çalışması, kapsamında üç boyutlu orthogonal dokuma kumalarının sonlu elemanlar metodu ile modellenmesi ve analiz edilmesi sağlanmıştır. Yüzdesel yer deformasyonu ve maksimum gerilme gibi değerlerin saptanması, çalışmada referans kaynaktan deney değerleri alınarak analiz değerleri ile karşılaştırılmıştır. Deneysel yöntem ve sonlu elemanlar analizi sonunda oldukça yakın değerler elde edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Üç Boyutlu Dokuma Kumaları, Sonlu Elemanlar Metodu, Maksimum Stres, Yüzdesel Yer Deformasyonu

ABSTRACT

MODEL OF THREE DIMENSIONS ORTHOGONAL WOVEN FABRICS WITH FINITE ELEMENT METHOD

MSC THESIS

MEHMET KORKMAZ

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
TEXTILE ENGINEERING**

(SUPERVISOR:ASSIST. PROF. DR. GUNGOR DURUR)

DEN ZL , MAY 2014

3D woven fabrics are used in many different industrial fields like defence, aviation and medical etc. 3D woven fabrics are analysed with Finite Element method to estimate their specialities. Estimate of fabric specialities give some advantages to users and producers in decision stage. In this thesis, 3D orthogonal woven fabric is modelled and analysed with Finite Element method. Results of analysis are compared with experimental results that are taken from reference work in the thesis where determine maximum strength and displacement values. Similar results have been getting from the experimental method and Finite Element analysis.

**KEYWORDS:3D wovenFabrics, Finite Element Method, Maximum Stress,
Displacement**

Ç NDEK LER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
Ç NDEK LER.....	iii
EK L L STES	iv
TABLO L STES	v
ÖNSÖZ.....	vi
1. G R	1
2. ÜÇ BOYUTLU KUMA LAR.....	3
2.1. ÜÇ Boyutlu Kuma lar,n Üretim Yöntemleri	4
2.1.1. ÜÇ Boyutlu Örme Yöntemií í í í í í í í í í í í í í	4
2.1.2. ÜÇ Boyutlu Dokusuz Yüzey Olu turma Yöntemií í í í í í í í	7
2.1.3. ÜÇ Boyutlu Diyagonal Örme (Braiding) Yöntemií í í í í	10
2.1.4. ÜÇ Boyutlu Dokuma Yöntemií í í í í í í í í í í í í í	13
3. ÜÇ BOYUTLU DOKUMA KUMA LAR.....	14
3.1. ÜÇ Boyutlu Dokuma Kuma lar,n Üretim Yöntemleri.....	16
3.1.1. Geleneksel Dok. Mak. Modifikasyonu le ÜÇ Boyutlu Dokuma Kuma Üretim	18
3.1.2. Gerçek ÜÇ Boyutlu Dokuma Makineleri le Kuma Üretimi.....	21
3.2. ÜÇ Boyutlu Dokuma Kuma lar,n Yap,s,	25
4. SONLU ELEMANLAR METODU	27
4.1 Sonlu Elemanlar Modelinin Olu turulmas,í í í í í í í í í í í í	28
4.1.1. Uç (Dü üm) Noktalar,í í í í í í í í í í í í í í í í	28
4.1.2. Elemanı í í í í í í í í í í í í í í í í	29
4.1.3. A (Mesh) Olu turmaí í í í í í í í í í í í í í í í	30
4.2.Abaqusí	32
5. SONLU ELEMANLAR ANAL Z	33
5.1. Modelleme lemií	33
5.2. Analiz lemií	36
5.2.1. Malzeme Özelliklerinin Atanmas,í í í í í í í í í í í í	36
5.2.2. Analiz Yönteminin Belirlenmesií í í í í í í í í í í í í í í	38
5.2.3. Modelin A Yap, Haline Getirilmesi (Meshing)í í í í í í	39
5.2.4. S,n,r artlar,n,n Uygulanmas,í í í í í í í í í í í í í	40
5.2.5. Yap,ya Yük uygulanmas,í í í í í í í í í í í í í í	41
5.2.6. Analizin Yap,lmas,í í í í í í í í í í í í í í	42
6. ARA TIRMA SONUÇLARI VE TARTI MA.....	44
7. SONUÇ VE ÖNER LER	53
8. KAYNAKLAR	55
9. ÖZGEÇM	58

EK L L STES

Sayfa

ekil 2.1: Çözgümlü örme yöntemi ile üretilen 3D kuma	5
ekil 2.2: L BA sistemi ile 3D kuma olu umu	6
ekil 2.3: Çözgümlü örme ilmek türlerií í í í í í í í í í í í í í í í .	7
ekil 2.4: neleme yöntemi ile 3D kuma üretimí í í í í í í í í í í .	8
ekil 2.5: Nasa taraf,ndan geli t, diki yöntemi ile 3D kuma üreten makineí	9
ekil 2.6: Diyagonal örme kuma lardan üretilen çe itli kompozitmalzí í ...	10
ekil 2.7: Diyagonal örme kuma , örücü bobinler ve bobin mekanizmasıí .	11
ekil 2.8: Ad,mlar,na göre diyagonal birim örme kuma í í í í í í í í í .	12
ekil 3.1: Çe itli triaxial kuma larí í í í í í í í í í í í í í í í í	15
ekil 3.2: ki ve üç boyutlu dokuma kuma üretimí í í í í í í í í í í ..	17
ekil 3.3: Çift yönlü a ,zl,k açma sistemií í í í í í í í í í í í í í í .	18
ekil 3.4: Greenwood taraf,ndan geli tirilen 3D dokuma mekanizmasıí í .	19
ekil 3.5: Noobing metodu ile üretilen 3D kuma í í í í í í í í í í í	19
ekil 3.6: Mohamed taraf,ndan geli tirilen 3D dokuma makinesií í í í í	20
ekil 3.7: North Carolina StateÜni. geli tirilen 3D dokuma makinesií .í ...	21
ekil 3.8: Fukuta taraf,ndan geli tirilen 3D dokuma makinesií í í í í í	22
ekil 3.9: 3D dokuma kuma çe itlerií í í í í í í í í í í í í í í ...	23
ekil 3.10: Çok eksenli 3D dokumaí í í í í í í í í í í í í í í í í ..	23
ekil 3.11: Dairesel, çok eksenli 3D dokumaí í í í í í í í í í í í í í í	24
ekil 3.12: Çok eksenli a ,zl,k açma mekanizması, le 3D kuma üretimi ..í	25
ekil 3.13: Orthogonal ve aç,l, interlok 3D dokuma kuma çe itleri...í í í	26
ekil 4.1: Uç (Dü üm) Noktalar,í í í í í í í í í í í í í í í í ...	29
ekil 4.2: Eleman ve dü üm noktalarıí í í í í í í í í í í í í í í í	29
ekil 4.3: Boyutlar,na göre eleman çe itlerií í í í í í í í í í í í í í í	30
ekil 4.4: nsan eklem yerinin S.E ile modellenmesi ve a olu turma lemi ..	31
ekil 4.5: Kademeli a olu turma i lemií í í í í í í í í í í í í í í ...	31
ekil 4.6: Abaqus çal, ma alan,í í í í í í í í í í í í í í í í í í í	32
ekil 5.1: Abaqus ile modellenen cam ipli í í í í í í í í í í í í í í í	35
ekil 5.2: Modellenen birim kuma hücreсіí í í í í í í í í í í í í í í	36
ekil 5.3: Malzeme özellikleri aktar,m tablosuí í í í í í í í í í í í í	37
ekil 5.4: Analiz türünün belirlendi i tablo í í í í í í í í í í í í í í	38
ekil 5.5: pli e uygulanan a olu turma i lemi í í í í í í í í í í í í	39
ekil 5.6: Birim kuma a uygulanan a olu turma i lemií í í í í í í í í	40
ekil 5.7: Birim kuma a uygulanan s,n,r artlar,í í í í í í í í í í í	41
ekil 5.8: Birim kuma a yük uygulama i lemií í í í í í í í í í í í	42
ekil 5.9: Birim kuma ta meydana gelen ekil de i imi í í í í í í í í	43
ekil 6.1: Birim kuma gerilme analiz sonucuí í í í í í í í í í í í	44
ekil 6.2: Birim kuma yer de i im analiz sonucu í í í í í í í í í í	46
ekil 6.3: Çekme deneyi sonucu elde edilen yük- yer de i im grafi í í	48
ekil 6.4: Analiz sonucu elde edilen yük- yer de i im grafi i.í í í í í	48
ekil 6.5: Referans kaynaktan al,nan yük- maksimum gerilme grafi í í	49
ekil 6.6: Analiz sonucu elde edilen yük- maksimum. gerilme grafi í í	50
ekil 6.7: Referans kaynaktan al,nan maksimum gerilme- yer de i imi graf...	51
ekil 6.8: Analiz sonucu elde edilen maksimum gerilme- yer de i im graf.....	51

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 6.1: Uygulanan yükøe göre maksimum gerilme de erleri.....	45
Tablo 6.2: Uygulanan yükøe göre yüzdesel yer de i im de erlerií í í í ...	47

ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca, sahip olduğum geniş bilgi ve tecrübeleri ile yanımda olup, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli tezdanim, man,ım Yrd. Doç. Dr. Güngör DURURÖa, sonlu elemanlar metodunu tekstil materyallerine uygulamama amaçlarımda bana büyük yardım, olan Prof. Dr. Peter MYLER (Bolton Üniversitesi/ İngiltere)Öa ve Bolton Üniversitesi doktora öğrencileri EshmaÖel Ebubakar, Umar Farooq ve Mamadou NdiayeÖ ye sonsuz teşekkürlerimi sunar,ım.

Öğrenci hareketliliği kapsamında, sahip olduğum bilgi ve tecrübeleri ile beni yönlendirip yurtdışı eğitimimi almama yardımcı olan Pamukkale Üniversitesi Uluslararası İlişkiler Birimi Başkanı, Prof. Dr. Selçuk TOPRAK ve birim çalışanları, yüksek lisans eğitimim boyunca yardımlarını, esirgemeyen Dr. Derman Vatansever BAYRAMOLÖa ve hayatımdaki her döneminde sonsuz destekleri ile yanımda olup, varlıkları ile bana güç veren babam H. Hüseyin KORKMAZ, annem Nuray KORKMAZ ve kardeşim Melih KORKMAZÖa sonsuz teşekkürlerimi sunar,ım.

1. G R

Dünyada gün geçtikçe artan enerji ihtiyacı; insanın yeni malzemelerin keşfine ve kullanımına yönlendirmektedir. Kompozit malzemeler, sahip oldukları düşük ağırlık değerlerine nazaran yüksek mekanik performansları ile üreticilere iyi bir alternatif olmaktadır.

Metal ve seramik malzemelere göre düşük ağırlık, yüksek mukavemet değerlerine sahip olan iki boyutlu kompozit malzemeler; kalınlıkları, yönünde oldukça düşük mekanik performansa sahiptirler. Ayrıca yapı içerisinde meydana gelen ve delaminasyon olarak ifade edilen, katlar arası ayrılma problemi bu yapıların önemli bir problemini teşkil etmektedir.

iki boyutlu kompozit malzemelerde meydana gelen problemler, üç boyutlu kumaşların üretimi için önemli bir sebep olmaktadır. Üç boyutlu kumaş dokuma, örme, dokusuz yüzey oluşturma, diyagonal örme (braiding) gibi yöntemler ile üretilebilmektedir. Kompozit malzemelerde aranan ilk özellik mukavemet olduğu için, diğer yapılarla nazaran üç boyutlu dokuma kumaşları daha fazla ilgi görmektedir.

Son yıllarda üretimi ciddi derecede artan üç boyutlu dokuma kumaşları; havacılık, savunma, uzay, medikal vs. gibi birçok farklı alanda kullanım imkânı sunabilmektedir. Kalınlıkları, yönünde oldukça yüksek mekanik performansa sahip olan üç boyutlu dokuma kumaşları; entegre bir yapıda oldukları için iki boyutlu kompozit malzemelerde gözlenen delaminasyon problemini tamamen ortadan kaldırmışlardır.

Üç boyutlu dokuma kumaşları havacılık ve uzay gibi sanayi dallarında kullanımını, bu yapıların sonlu elemanlar metodu gibi yöntemlerle analiz edilerek güvenilirliklerinin değerlendirilmesi ihtiyacı doğurmaktadır.

Mühendislikte kararlaştırılan problemlerin genelde kompleks bir yapıya sahip olmaları, çözümlerini zorlatmaktadır. Numerik bir matematiksel yöntem olan sonlu elemanlar metodu ile bu yapılar; kısmi diferansiyel denklemleri bilinen küçük parçalara ayırmakta ve sistemin genel denklemi oluşturularak çözümü sağlanmaktadır.

Sonlu elemanlar metodu ile analitik matematiksel çözümler kadar kesin sonuçlar elde edilemese de sonuca oldukça yakın değerlere ulaşabilmektedir. Bu metodun avantajı ile mühendislikte kullanılan birçok parça ve malzemenin tasarımı, mümkün kılınması; zaman, maliyet vs. gibi parametrelerden tasarruf sağlanmaktadır.

Tez çalışması kapsamında üç boyutlu orthogonal bir dokümanın sonlu elemanlar metodu ile modellenmesi ve analiz edilmesi sağlanmıştır. Analiz amaçlarında doküman yük altında sahip olduğu maksimum gerilim ve yüzdesel yer değiştirmeleri de elde edilmiştir.

Analiz işlemi ile elde edilen sonuçlar, referans kaynaktan alınan test sonuçları ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Test sonuçları ile oldukça yakın yüzdesel yer değiştirmeleri elde edilmiştir. Aynı zamanda analiz sonucu bulunan maksimum gerilme değerleri, referans kaynaktaki farklı bir analiz yöntemi ile bulunan değerlerle karşılaştırılmış, oldukça yakın ve lineer sonuçlar elde edilmiştir.

2. ÜÇ BOYUTLU KUMA LAR

Tekstilde farklı yöntemler vasıtasıyla kuma üretimi mümkün kılınabilmektedir. Dokuma, örme ve dokusuz yüzey oluşturma yöntemleri ile geleneksel, iki boyutlu kuma ların üretimi sağlanabilmektedir.

Anizotropik yapıya sahip olan iki boyutlu kuma lar, yüzey alanıyla karşılaştırıldığında oldukça düşük bir kalınlık değerine sahiptirler, dolayısıyla kalınlıklar, yönünde düşük mekanik performans göstermektedirler.

Tekstil lifleri ve kuma lar kompozit malzeme üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tekstil kompozit malzemeler savunma, medikal, havacılık endüstrisi gibi birçok endüstri dalında uygulama alan bulmaktadır (Bilgin 2012).

Tekstil kompozit malzemeler, düşük ağırlıklarına nazaran sahip oldukları yüksek mukavemet değerleri ile metal ve seramik malzemelerden yüksek mekanik davranış göstermektedirler. Fakat iki boyutlu kuma lar ile üretilen kompozit malzemeler, düşük kalınlık değerine sahip oldukları için kalınlıklar, doğrultularında düşük mekanik davranış sergilemektedirler. Bunun yanı sıra, iki boyutlu tekstil kompozit malzemelerinde katlar arasında ayrılma olarak ifade edilen delaminasyon problemi meydana gelmektedir.

iki boyutlu kompozit malzemelerde gözlenen problemler, üç boyutlu kuma ların üretilmesi için önemli bir nedeni teşkil etmektedir. Üç boyutlu kuma lar dokuma, örme, dokusuz yüzey oluşturma ve diyagonal örme yöntemleri gibi tekstil üretim yöntemleri ile elde edilebilmektedir.

Üç boyutlu kuma lar kompozit malzemelerde meydana gelen delaminasyon problemini tamamen ortadan kaldırmaktadır. Bunun yanı sıra elde edilmek istenen son ürünün ağırlığına yakın üretimi mümkün kılmaktadır. Böylece üretim maliyetleri ve malzeme tüketim miktarlarında ciddi bir azalma sağlanmaktadır.

2.1 Üç Boyutlu Kuma lar,n Üretim Yöntemleri

Üç boyutlu kuma lar dokuma, örme, diyagonal örme, dokusuz yüzey olu turma ve dikme gibi tekstil üretim yöntemleri ile elde edilebilmektedir.

2.1.1 Üç Boyutlu Örme Yöntemi

Üç boyutlu örme kuma lar,n üretimi geleneksel, iki boyutlu örme kuma lar,n üretiminde oldu u gibi atk,l, ve çözümlü örme yöntemleri ile elde edilebilmektedir.

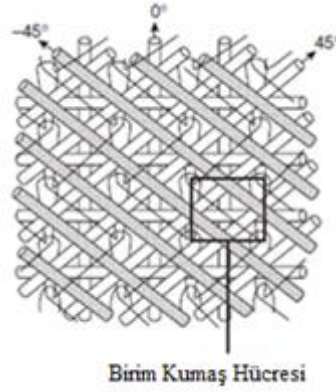
Atk,l, örme yöntemi ile istenen son ürüne oldukça yak,n ekle sahip, üç boyutlu örme kuma lar,n üretimi sa lanabilmektedir. Üç boyutlu örme kuma lar,n atk,l, örme makinelerinde üretimi; makinelere ilave edilen yataklar ve elektronik donan,malar ile sa lanabilmektedir.

Üç boyutlu atk,l, örme kuma lar,n bir di er önemli avantajlar, ise istendi i takdirde boyuna yönde dolgu ipliklerinin yap, içerisinde dâhil edilebilmesidir. Atk,l, örme yöntemi ile elde edilen bu kuma türlerinde ya anan en önemli problem; yap,n,n fazla hacimli ve bo luklu olmas,d,r. Birim hacim ba ,na dü en bo luk say,s,n,n fazla olmas, yap,n,n lif/ hacim oran,n,n dü mesine sebebiyet vermektedir. Bu durum yap,n,n dü ük bir mukavemet de erine sahip olmas,na neden olmaktadır.

Çözümlü örme makineleri ile elde edilen üç boyutlu örme kuma lar, atk,l, örme makinelerinde üretilen yap,lara nazaran son y,llarda yüksek derecede ra bet görmektedir.

Çözümlü örme makineleri ile elde edilen üç boyutlu örme kuma lar; iki boyutlu dokuma kuma lara nazaran yüksek derecede elastisite modülü ve mukavemet de erlerine sahiptir. Bu fark,n sebebi; karbon, cam, bazalt vs. gibi yüksek modüllü liflerin çözümlü örme yap,lar,n içerisinde daha az k,vr,ma sahip olarak yer almalar,d,r. plik yap,s,nda k,vr,m,n azalmas, mukavemette art, a sebebiyet vermektedir. Ayr,ca kompozit malzeme üretiminde iki boyutlu dokuma kuma lar,n yerine bu yap,lar,n tercih edilmesi; kuma telef miktar,n,n ve üretim

maliyetlerinin ciddi derecede azalmasın, sağlanmaktadır. Ekil 2.1'de çözümlü örme yöntemi ile üretilen üç boyutlu örme kumaş gösterilmektedir.



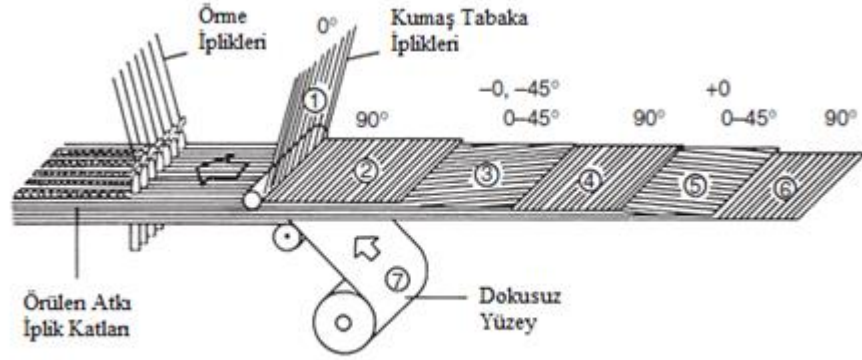
Ekil 2.1: Çözümlü örme yöntemi ile üretilen 3D kumaş

Üç boyutlu çözümlü örme kumaşlar 1980'li yılların başında üretilmeye, 1990'li yıllarda kompozit endüstrisinde kullanılmaya başlanmıştır. Bu kumaş türlerinde; üretim maliyetlerinin düşük olması, istenen özellikler doğrultusunda dizayn edilebilme kabiliyetleri gibi üstün özelliklerinden dolayı, jeotekstiller, pnömatik sistemler, araba ve uçaklarda bazı parçaların üretimi, çeşitli vücut kılımları, ve yapay damarların üretimi gibi birçok farklı alanda kullanılmaya başlanabilmektedirler (Kaufmann 1991; Dexter 1992).

Çözümlü örme makinelerinde bu kumaş türlerinin üretimi; lif tabakaların istenen doğrultuda yatırılıp, çözümlü örme işlemiyle bu tabakaların başlanmasıyla sağlanmaktadır.

Mayer ve Liba firmaları, farklı üretim teknikleri ile bu yapıların üretimini mümkün kılmaktadır. Mayer firmasının geliştirdiği sistemde dört farklı lif tabakasının 0°, +45°, -45°, 90° yönlerinde yatırılması ve ilmekleme işlemiyle başlanarak üretilmesi sağlanmaktadır. Liba firmasının geliştirdiği yöntemde ise kumaşa dâhil edilen lif tabaka sayısı yediye çıkarılmaktadır. Ekil 2.2'de Liba firmasının üretim

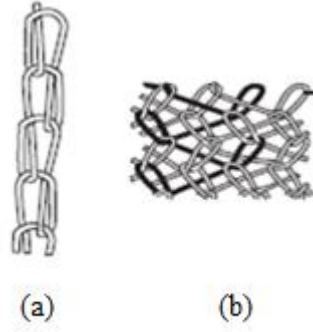
teknik i gösterilmektedir. Liba üretim tekni i ayrıca dokusuz kumaş lar, n sisteme dâhil edilebilmesini mümkün k, lmaktadır.



ekil 2.2: L BA sistemi ile 3D kumaş oluşturma

Yapı, içerisinde bulunan lif tabakalar,; istenen doğrultularda yapıya mukavemet kazandırırken çözümlü örme işlemi; yapıya kalınlık yönünden mukavemetinin artmasını sağlamaktadır.

Üç boyutlu çözümlü örme makinelerinde ilmek zincir veya trikot olmak üzere iki farklı şekilde elde edilebilmektedir (ekil 2.3). İmek, yapıya bütünlüünü sağlarken mukavemette ve zarar toleransında ciddi derecede artış meydana getirmektedir (ZhouRongxing 2005). Zarar tolerans, malzemenin yapısal bir özelliğidir. Malzemenin, yapıda meydana gelen hasarın, tamir işlemi gerçekleştirilene kadar malzeme güvenilirliğini belirli sınırlar içerisinde tutabilme kabiliyeti olarak ifade edilebilir.

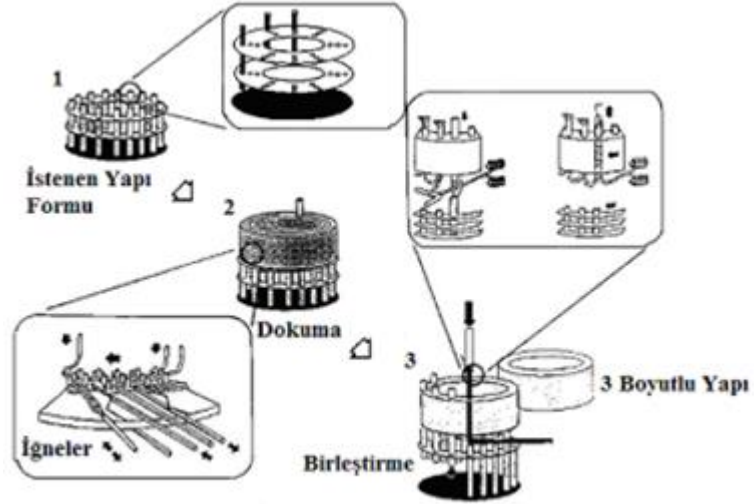


ekil 2.3: Çözümlü örme ilmek türleri a) zincir ilmek b) trikot ilmek

2.1.2 Üç Boyutlu Dokusuz Yüzey Olu turma Yöntemi

Üç boyutlu dokusuz yüzeylerde, yap,y, olu turan iplikler aras,nda herhangi bir ba lant, bulunmamaktad,r. Bu yap,lar i neleme ve diki le birle tirme yöntemleri ile üretilebilmektedir.

neleme yönteminde iplikler; istenen do rultularda sisteme yat,r,lmaktad,r fakat bu iplikler aras,nda herhangi bir ba lant, bulunmamaktad,r. Sonras,nda i neler vas,tas, ile ipliklerde yer alan elyaf,n birbiri içerisinden geçerek birle meleri ve bir yüzey olu turmalar, sa lanmaktad,r. ekil 2.4ø te i neleme yöntemi ile olu turulan bir yüzey ve üretim yöntemi görsel olarak ifade edilmektedir.



ekil 2.4: neleme yöntemi ile 3D kuma üretimi (Gündo an, 2010)

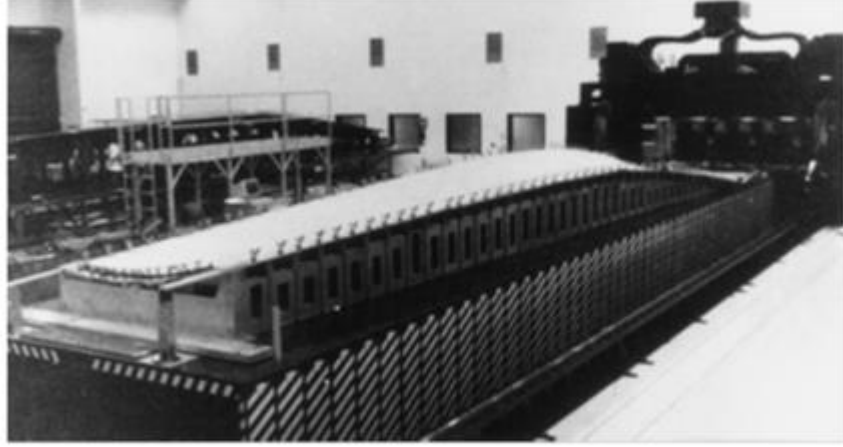
Diki ile yüzey oluşturma yönteminde liflerin ya da ipliklerin oluşturduğu tabakalar, diki işlemi ile birleştirilmesi sağlanmaktadır. Yapılan bu işlemde diki türü, diki ipliği çeşidi ve numarası, birim alanda ki diki yoğunluğu büyük önem arz etmektedir.

Üç boyutlu dokusuz yüzeylerde diki ipliği yoğunluğu $0,4 \text{ } \delta \text{ } 25 \text{ diki / cm}^2$ arasındadır (Mouritz 1999). Genellikle diki ipliği olarak kevlar tercih edilmektedir. Çünkü kevlar diğer liflere nazaran yüksek mukavemet ve esneklik değerlerine sahiptir.

Diki işlemi ile dokusuz yüzeylerin elde edildiği makinelerde dikim kafası, bir veya birden fazla olabilmektedir. Makinede bulunan dikim kafası sayısı, dikim kafasının kalınlığı, belirli bir yüzey kalınlığına kadar dikim işlemi yapılabilmesi, yüzeyin sınırlı bir genişlikte elde edilebilmesi bu makineler için bazı sorunlar teşkil etmektedir.

Günümüzde sanayi tipi makineler azami 1 m genişlik ve 5 mm yüzey kalınlığında değerlerinde çalışabilmektedir. Ekil 2.5'te NASA tarafından bu yapıların elde etmek için kullanılan makine gösterilmektedir. Makine 28 m uzunluğunda olup, 15 m'de dikim

yapabilmekte, 3 m ende ve 40 mm kalınlıkta ki yüzeylere dikme işlemi uygulayabilmektedir.



Şekil 2.5: Nasa tarafından geliştirilen, dikme yöntemi ile 3D kuma üreten makine (Mouritz, 1999)

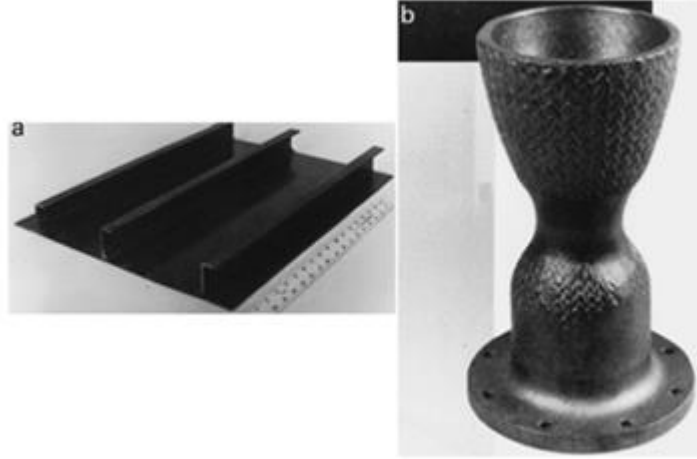
Üç boyutlu dokusuz yüzeylerin üretimi iki boyutlu dokuma kumaşlara nazaran daha kolay ve ucuzdur. Aynı zamanda bu yapılar ile elde edilen kompozit malzemelerin yorulma ve darbe dayanımı, geleneksel dokuma kumaşlara nazaran daha yüksektir.

Kompleks şekillerde yer alan, kavisli bölgelerin günümüz sanayi makineleri ile dikiminin zor olması, bu yapıların önemli bir problemini oluşturmaktadır. Dikim yoluyla, iplik türü ve numarası gibi konularda da yeterince çalışılmamıştır. Bu konuların aydınlatılması, olmasının kullanılmamasının bir diğer önemli sebebinin oluşturulmasıdır.

2.1.3 Üç Boyutlu Diyagonal Örme (Braiding) Yöntemi

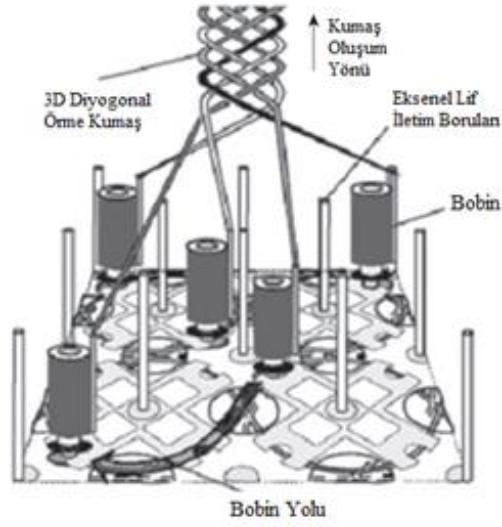
Üç boyutlu diyagonal örme yöntemi, üç boyutlu kuma üretimi için tarihte kullanılan ilk yöntemdir. 1960'lı yılların sonlarında, roket motorunda, metal alaşımlarına nazaran %30- 50 arasında ağırlık azaltılması amacıyla üretilmiştir.

Diyagonal örme yöntemi ile elde edilen üç boyutlu kumaşlar; medikal, uzay, ulaşımlar gibi birçok farklı alanda kullanım alanı bulabilmektedir. Diyagonal örme yöntemi ile son yıllarda oldukça yakın yapıların üretimi mümkün kılınmaktadır. Bu durum üretim maliyetlerini ve atık iplik, kumaş miktarını ciddi derecede azaltmaktadır. Şekil 2.6'da diyagonal örme yöntemi ile üretilmiş üç boyutlu kompozit malzemeler gösterilmektedir.



Şekil 2.6: Diyagonal örme kumaşlardan üretilen çeşitli kompozit malzemeler (Mouritz, 1999)

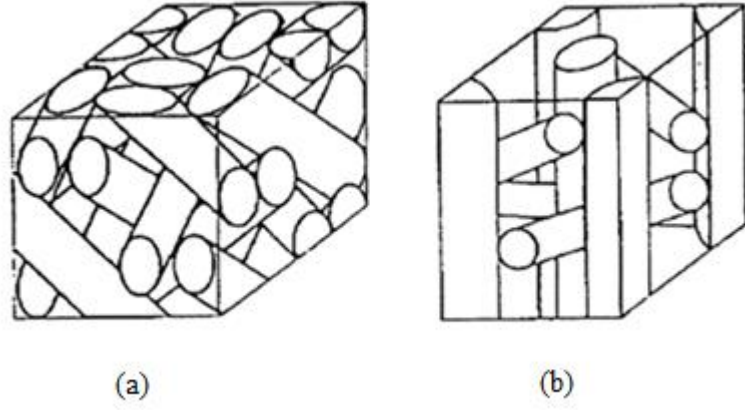
Diyagonal örme yöntemi ile elde edilen üç boyutlu yapıların aksel ve örücü iplikler olmak üzere iki farklı iplik grubu bulunmaktadır. Aksel iplikler; mukavemet istenen doğrultuda yapı içerisine dâhil edilirken, iplik bağlantıları, örücü iplikler ile sağlanmaktadır. Örücü iplikler mekiklerden sisteme beslenmektedir. Örme sistemi örücü iplik bobinlerinin yer değiştirmesi hareketi ile sağlanmaktadır. Şekil 2.7'de diyagonal örme kumaş, örücü iplik bobinleri ve bobin mekanizmaları gösterilmektedir.



ekil 2.7: Diyagonal örme kuma , örücü bobinler ve bobin mekanizmas,

Üç boyutlu diyagonal örme kuma lar kö eli ya da dairesel olarak üretilebilmektedir. Bu yap,lar,n üretimi amaca ba l, olarak dairesel ya da kö eli makinelerde yap,lmaktad,r.

Üç Boyutlu diyagonal örme kuma lar ad,m say,lar,na göre s,n,fland,r,lmaktad,r. Makinenin bir devrinde meydana gelen örme i lemi; ad,m, ifade etmektedir. Üç boyutlu diyagonal örme kuma lar iki, dört ya da çok ad,ml, olabilmektedir. ki ad,ml, diyagonal örme yöntemi 1987 y,l,nda Popper ve McConnell taraf,ndan geli tirilmi tir. 1980ø li y,llardan itibaren dört, alt, ve çok ad,ml, diyagonal kuma lar,n üretilmesi üzerine çal, lmaktad,r. ekil 2.8ø de iki ve dört ad,ml, diyagonal örme kuma lar,n birim örgü desenleri gösterilmektedir.



ekil 2.8: Ad,mlar,na göre diyagonal birim örme kuma

Küçük boyutlu yap,lar,n üç boyutlu diyagonal kuma lar ile üretimi oldukça ucuz ve kolay bir i lemdir. 100 mmø nin üzerinde ene sahip kuma lar,n diyagonal örme yöntemi ile üretilmesinde çe itli problemler ortaya ç,kmaktad,r. Çünkü üretilmek istenen ürünün boyutunun artmas,, makinenin de boyutunun artt,r,lmas, gereklili ini ortaya ç,karmaktad,r. Bu yap,lar,n uçak üretiminde yayg,n bir biçimde kullan,lamamalar,n,n en önemli nedeni; yap,y, üretebilecek olan makinenin boyutundan kaynakl, olarak maliyetin oldukça yüksek ve i lemin zor olmas,ndan do maktad,r.

Üç boyutlu diyagonal örme kuma larla olu turulan kompozit malzemelerde elastisite modülü; örücü ipliklerin olu turdu u diyagonal aç,, iplik numaralar, ve örgü deseni gibi de i kenlere ba l, olarak de i mektedir. Fakat günümüzde bu özelliklerin kuma karakteristi ine etkilerini ara t,ran çok çal, ma bulunmamaktad,r. Ayn, zamanda bu yap,lar,n mukavemet ve yorulma dayan,m,n, tahminleyen yeterli derecede modelleme çal, mas, bulunmamaktad,r.

Üç boyutlu diyagonal örme kuma lar ile olu turulan kompozit malzemelerin mukavemet de erlerinin iki boyutlu kompozit malzemelere nazaran dü ük olmas, ve büyük boyutlu kuma lar,n üretiminde makinelerin uzun sürede üretime haz,r hale getirilmesi ve yava olarak çal, mas, yap,n,n di er eksilerini olu turmaktad,r.

Günümüzde üç boyutlu diyagonal örme kuma lar,n otomotiv sektöründe; ase ve aft imalinde kullan,lmaz, üzerine çal, lmaktadır. E er hedeflenen ba ar,ya ula ,labilirse arabalarda % 50øye varan oranlarda a ,rl,k kayb, sa lanabilecektir.

2.1.4 Üç Boyutlu Dokuma Yöntemi

Üç boyutlu dokuma yöntemi, üç boyutlu kuma lar,n üretimi için kullan,lan önemli metotlardan birini temsil etmektedir. Üç boyutlu kuma lar, kompozit malzeme imalinde kullan,ld,klar, için mukavemet de erleri önem ta ,maktadır. Üç boyutlu kuma üretim yöntemleri içerisinde dokuma metodu; di er yöntemlere nazaran yüksek mukavemet de erine sahip kuma lar,n üretilmesini sa lamaktadır. Bu sebepten dolayı, di er üretim yöntemlerine nazaran daha yayg,n ve bilinen bir yöntemdir. Bölüm 3ø te üç boyutlu dokuma kuma lar detayl, bir ekilde ifade edilmi tir.

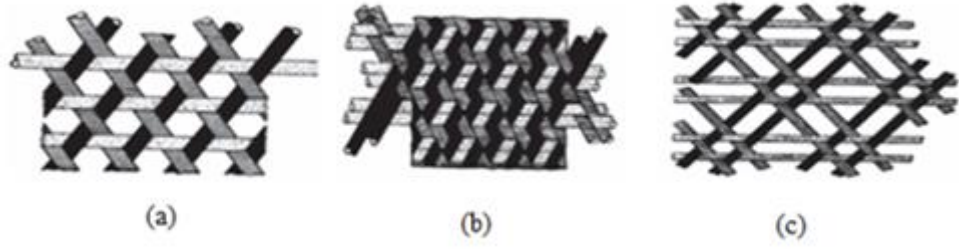
3. ÜÇ BOYUTLU DOKUMA KUMA LAR

Birçok farklı alanda kullanılmayan, bulabilen geleneksel dokuma kumaşlar, kompozit endüstrisinde de iki boyutlu kompozit malzemelerin üretiminde tercih edilmektedir. Tekstil kompozit malzemeler havacılık ve savunma sanayisinde; metal ve seramik gibi benzeri malzemelere nazaran düşük ağırlık, yüksek mukavemet ve dene bir çok üstün özellik sunmaktadır.

iki boyutlu dokuma kumaşlardan üretilen kompozit malzemelerin düşük kalite de erine sahip olmalarından dolayı, kalite, yönünde iki mekanik performans, düşük olması, bu yapıların önemli bir eksiğini temsil etmektedir. Diğer yandan tabakalar arasında meydana gelen ve delaminasyon olarak adlandırılan ayrılma problemi, bu yapıların bir diğer problemini oluşturmaktadır.

iki boyutlu dokuma kumaş yapısında bulunan iplikler, dokuma konstrüksiyonundan dolayı, fazla miktarda etilmeye maruz kalmaktadır. Karbon, cam, bazalt vs. gibi yüksek modüllü liflerin bu yapıların içerisinde kullanılması; elde edilen kumaşın düşük elastisite modülüne sahip olmasına sebebiyet vermektedir.

Geleneksel dokuma kumaşlar birbirine dik, iki ayrı iplik grubundan meydana gelmektedirler. Bu kumaşlara çapraz yönde kuvvet uygulanması; atkı ya da çözgü ipliği olarak adlandırılan, iplik gruplarının yapısının içerisinde kayması ve kumaş mukavemetinin çapraz yönlerde düşmesine neden olmaktadır. İki boyutlu dokuma kumaşlarda yaşanan bu problem Triaxial olarak adlandırılan kumaş türlerinin üretilmesine sebebiyet vermiştir (ekil 3.1).



ekil 3.1: Çe itli triaxial kuma lar

Triaxial kuma larda üç çe it iplik grubu yer almaktadır. Bu iplikler; yap,n,n mukavemetini çapraz yönde uygulanan kuvvetlere karşı, arttırmak için birbirleri ile 60° aç, yaparak kesilmektedirler.

iki boyutlu dokuma kuma larda yaşanan problemler üç boyutlu dokuma kuma lar,n imali için önemli bir sebep olmaktadır. Üç boyutlu dokuma kuma lar, iplik veya kuma tabakalar, tarafından oluşturulan kalınlıklar, yönünde; belirli bir boyuta sahip olan yapılar, şeklinde tanımlanmaktadır (Chen 2011).

Üç boyutlu dokuma kuma lar kalınlıklar, yönünde yüksek mekanik karakteristik göstermektedir. Entegre bir yapı, halinde kalınlık değerine sahip olmaları, iki boyutlu kompozit malzemelerde gözlenen delaminasyon problemini tamamen ortadan kaldırmaktadır.

Üç boyutlu dokuma kuma üretim yöntemleri, yüksek modüllü liflerin x, y ve z yönlerinde düşük k,v,m oran, ile yapıya dâhil edilebilmelerini mümkün kılmaktadır. Liflerde k,v,m oran,n,n düşmesi; yap,n,n lif/hacim oran,n,n artması, sağlamaktadır dolayısıyla kuma larda elastisite modülü yükselmekte, mukavemet art, , gözlemlenmektedir.

Üç boyutlu dokuma kuma üretim yöntemleri ile karbon, cam, bazalt vs. gibi yüksek modüllü liflerden; 1 inçø ten 72 inçø e kadar kalınlık değerine sahip kuma lar,n üretimi mümkün kılınabilmektedir.

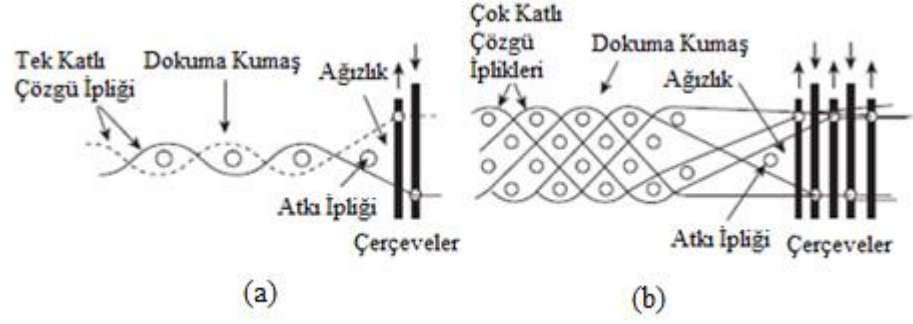
Üç boyutlu dokuma kumaşların kompozit malzeme üretiminde sahip oldukları bir diler art, nokta ise komplike ipliklerin üretimini sağlayabilmeleri ve netlikle yaklaşı olarak üretilibilmeleridir. Kompozit malzemeler üzerinde yapılan delme, kesme gibi işlemler malzemelerde yüksek derecede mukavemet kaybına sebebiyet vermektedir. Sonuç olarak yaklaşı üretim; malzemede mukavemet kaybını önlerken malzeme telef miktarı ve işçilik ücretinin azalmasına yardımcı olmaktadır.

Yapı içerisinde, kalınlık doğrultusunda yer alan iplikler; kapılar kanal görevi görmektedir. Bu iplikler, kompozit malzeme üretimi için kullanılan reçinenin yapısında hızlı ve homojen olarak dağılımına yardımcı olmaktadır.

3.1 Üç Boyutlu Dokuma Kumaşların Üretim Yöntemleri

Geleneksel dokuma makinelerinin bir devrinde; açılan bir adet ağızdan atk, ipliğinin geçirilmesi ile iki boyutlu dokuma kumaşların üretimi sağlanmaktadır. Makine hızının çeşitli atk atma yöntemleri ile oldukça yüksek hızlara çıkabildiği bu yöntemde kumaş kalınlık derecesi oldukça sınırlıdır. Ayrıca yapı içerisinde ipliklerin kırılmaları olarak yer alması, bu kumaşların elastisite derecelerinin düşük olması sebebiyet vermektedir.

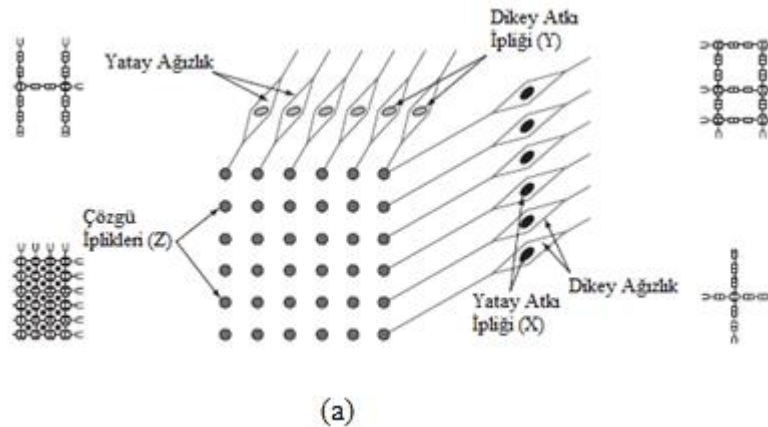
Üç boyutlu dokuma kumaşlarda kalınlık yönünde birden fazla atk, ipliği yer almaktadır. Bu durum kumaşın kalınlık derecesine sahip olarak üretilmesini sağlamaktadır. Üç boyutlu dokuma kumaşlarda tefeleme işleminden önce birden fazla ağızların açılması, gerekliliği, makine hızının düşük bir dereceye sahip olması sebebiyet vermektedir. Şekil 3.2'de iki boyutlu ve üç boyutlu dokuma kumaş üretimi görsel olarak ifade edilmiştir.

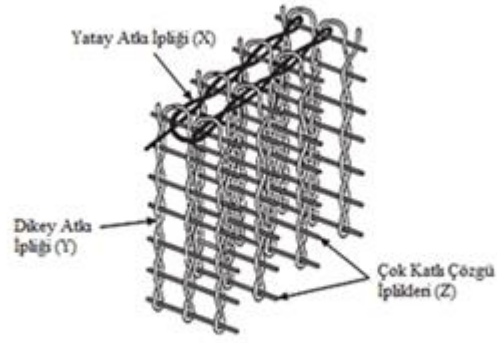


ekil 3.2: Dokuma kuma üretimi a) iki boyutlu b) üç boyutlu

Üç boyutlu dokuma kuma lar,n üretimi; geleneksel dokuma makinelerinin modifikasyonu ile ya da üç boyutlu dokuma kuma üretmek amac, ile özel olarak dizayn edilmi makineler vas,tas,yıla sa lanmaktadır.

Çok katlı, yap,lar,n üretimi; ba lay,c, çözgü ipliklerinin sadece dikey yöndeki hareketi ile sa lanabilirken, özel olarak dizayn edilmi dokuma makinelerinde çözgü ipliklerinin yatay ve dikey yönde hareket ettirilmesi ile üç boyutlu dokuma kuma lar,n üretimi sa lanmaktadır. ekil 3.3ø te çözgü ipliklerinin dikey ve yatay yönlerde hareket ettirilmesi ile kuma üretimi ve elde edilen kuma yap,s, görsel olarak ifade edilmi tir.



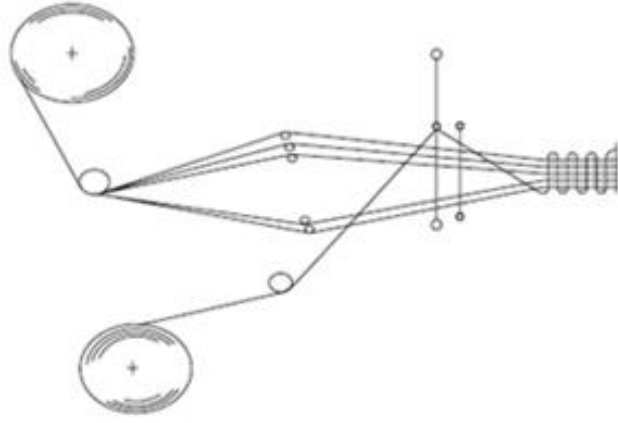


(b)

ekil 3.3: Çift yönlü a ,zlk açma sistemi a) a ,zlk mekanizmas,
b) olu turulan 3D kuma

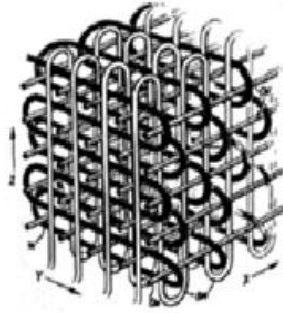
3.1.1 Geleneksel Dokuma Makinelerinin Modifikasyonu ile Üç Boyutlu Dokuma Kuma Üretimi

Çok katlı, dokuma kuma lar,n iki farklı, çözgü grubu kullan,larak üretimi 1974 y,l,nda Greenwood taraf,ndan geli tirilmi tir. Üç farklı, iplik grubu kullan,larak üç boyutlu dokuma kuma lar,n üretimi sa lanmaktadır. Çözgü iplikleri iki farklı, iplik grubundan olu maktadır. Bir grup sadece kuma do rultusu yönünde uzan,rken ba lay,c, çözgü iplikleri kuma , bütün halde, bir arada tutmaktadır. ekil 3.4ø te bu yap,lar,n üretiminin sa land, , dokuma makinesi mekanizmalar, ifade edilmi tir.



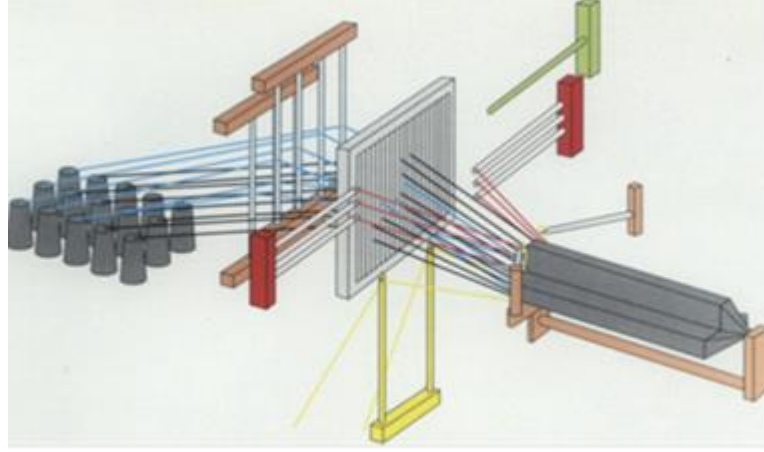
ekil 3.4: Greenwood taraf,ndan geli tirilen 3D dokuma mekanizmas, (Hu, 2008)

Khokar, bu yap,lar, Noobed olarak adland,rm, t,r. Sistem içerisinde yer alan u ayr, iplik grubu birbiri ile fazla miktarda ba lant, yapmamaktad,r. Bu üretim yöntemi ile 17 katø a kadar kuma üretimi sa lanabilmektedir. ekil 3.5ø te bu sistemler ile üretilmi u boyutlu dokuma kuma gösterilmektedir.



ekil 3.5: Noobing metodu ile üretilen 3D kuma (Hu, 2008)

Geleneksel dokuma makinelerinin modifikasyonu ile olu turulan bir di er u boyutlu kuma dokuma sistemi 1990 y,l,nda Mohamed taraf,ndan geli tirilmi tir. Bu sistemde T, I, vs. profillerine sahip, u boyutlu dokuma kuma lar,n üretimi sa lanabilmektedir. ekil 3.6ø da Mohamed taraf,ndan geli tirilen makine mekanizmalar, görsel olarak ifade edilmi tir.

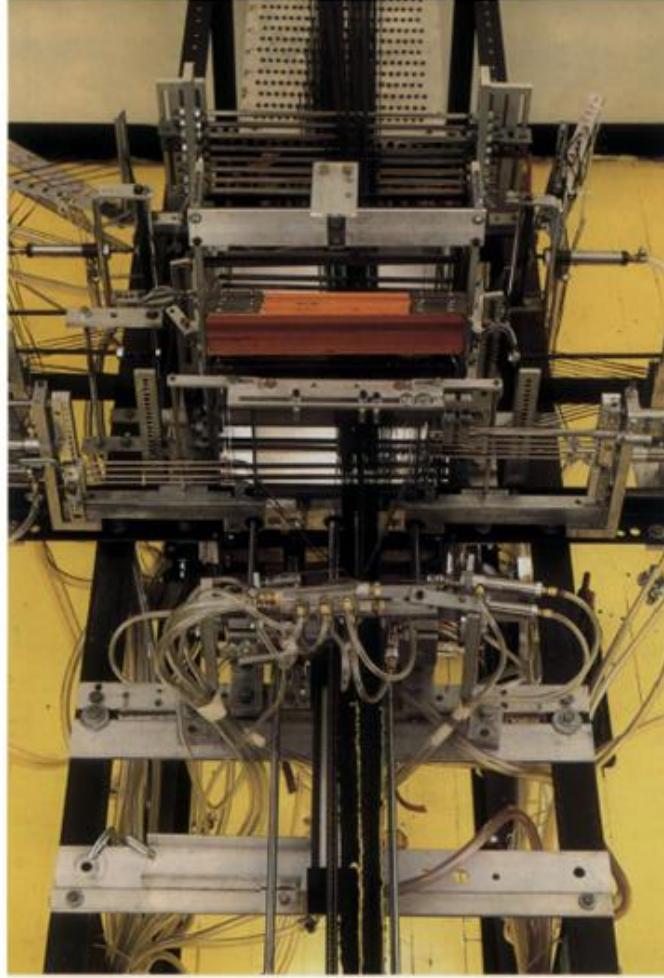


ekil 3.6: Mohamed taraf,ndan geli tirilen 3D dokuma makinesi (Mohamed, 1990)

Sistemde, üretilmek istenen profil ekline göre iplik bobinlerinin ca l, a dizimi sa lanmaktadır. Bir grup çözgü ipli i kuma do rultusu boyunca; kuma içerisinde uzanırken di er çözgü ipli i grubu çerçeveler vas,tas, ile a a ,, yukarı yönde hareket ettirilmektedir.

Atk, i neleri vas,tas, ile birden fazla atk, ipli inin tek bir makine devrinde yap,ya dâhil edilebilmesi sa lanmaktadır. Atk, iplikleri; makine kenar,nda bulunan örücü i neler vas,tas, ile yap,ya ba lanmakta ve tefeleme i lemi ile kuma olu umu sa lanmaktadır.

Bu sistem vas,tas, ile oldukça yüksek kal,nl,k de erlerine sahip ve mukavim; profilli üç boyutlu dokuma kuma lar,n üretimi mümkün k,l,nabilmektedir. ABDøde bulunan North Carolina State Üniversitesinde geli tirilen bu makinede mekanizmalar,n hareketi; elektriklenmeyi önlemek maksad, ile pnömatik sistemler vas,tas, ile sa lanm, t,r. Ayr,ca ipliklerde sürtünmeyi azaltmak için iplikler borular içerisinde makineye ta ,nm, t,r. Üretilen makine ekil 3.7øde gösterilmektedir.



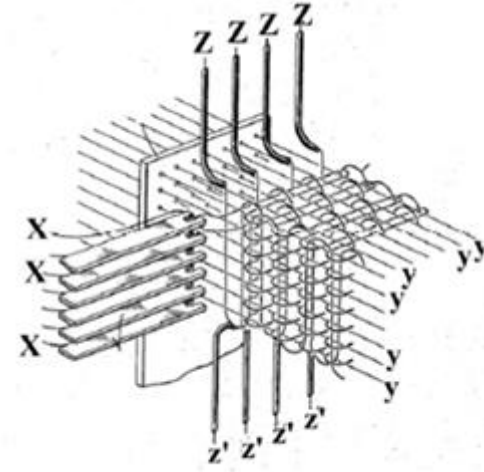
ekil 3.7: North Carolina State Üni. geli tirilen 3D dokuma makinesi
(Mohamed, 1990)

3.1.2 Gerçek Üç Boyutlu Dokuma Makineleri ile Kuma Üretimi

Geleneksel dokuma makinelerinin modifiye edilmesi ile üretilen üç boyutlu dokuma kuma larda, makinenin devrinde bir kuma tabakas,n,n yap,ya dâhil edilmesi sa lanmaktadır. Üç boyutlu kuma lar üzerine çal, an bilim adamlar,; bu sistemleri gerçek bir üç boyutlu dokuma makinesi olarak görmeyip, yap,ya kat,lmas, istenen tüm tabakalar,n; makinenin bir devrinde kuma a dâhil edilmesi gerekti ini ifade etmektedirler.

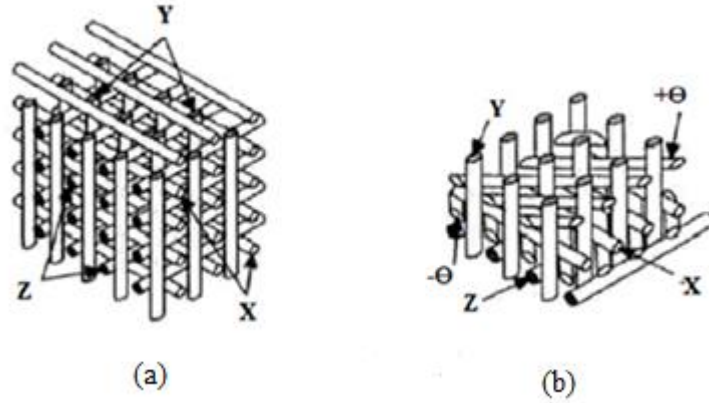
Gerçek üç boyutlu dokuma makineleri ile üretilen yapılar tek eksenli, çok eksenli veya iplik tabakalar, arasında kesi menin olmas, veya olmamas, durumuna göre kategorize edilebilmektedir.

Şekil 3.8'de Fukuta tarafından 1974 yılında geliştirilen tek eksenli, üç boyutlu dokuma mekanizması, ifade edilmiştir. Yapı, içerisinde üç ayrı iplik grubu yer almaktadır. Kuma dokultusunda yer alan iplikleri hiçbir kuvvet yapmadan kuma boyunca uzanmaktadır. Makinede x ve z ipliklerinin mekikler vasıtasıyla yapıya dâhil edilmesi sağlanmaktadır. Bu sistemde iplikler arasında bağlantı bulunmamaktadır.



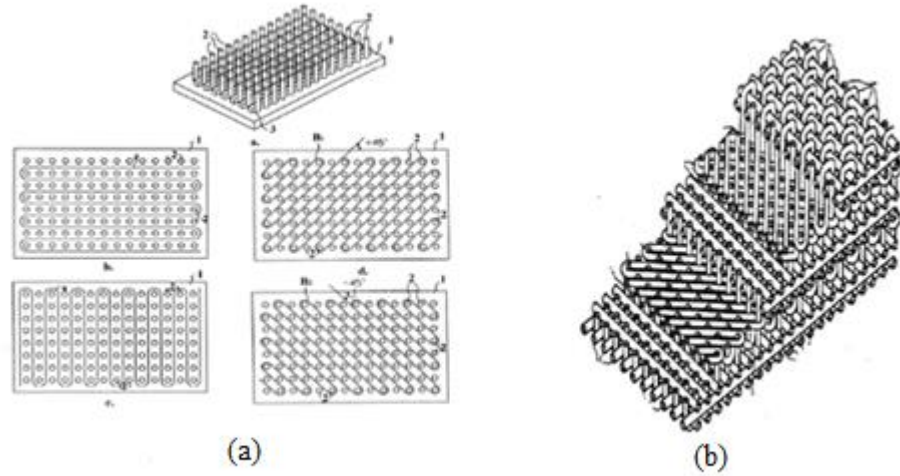
Şekil 3.8: Fukuta tarafından geliştirilen 3D dokuma makinesi

Geleneksel dokuma makinelerinin modifikasyonu ile üretilen üç boyutlu dokuma kumaşlarında; iplikler birbirlerine 90° açı yapacak şekilde bağlanmaktadır. Bu makinelerde iplikler kumaşa 45° açıya sahip olarak dâhil edilememektedir. Dolayısıyla, kumaşlar; çapraz yönde uygulanan kuvvetlere karşı düşük mukavemet göstermektedir. Çok eksenli üç boyutlu dokuma makineleri ile +45° ve -45° açılarına sahip iplik tabakalarında kumaşa tek bir makine devrinde dâhil edilmesi sağlanabilmektedir. Şekil 3.9'da tek eksenli ve çok eksenli birim kumaşlar görsel olarak ifade edilmiştir.



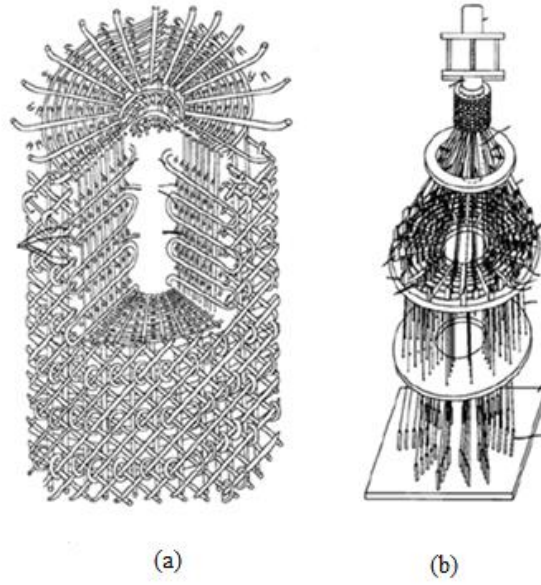
ekil 3.9: 3D dokuma kuma çe itleri a) tek eksenli b) çok eksenli

Anahara taraf,ndan1993 y,l,nda geli tirilen, çok eksenli üç boyutlu dokuma makineleri vas,tas, ile be farklı eksene sahip dokuma kuma lar,n üretimi sa lanabilmektedir. ekil 3.10ø da farklı aç, de erlerine sahip iplik tabakalar, ve üretilen kuma gösterilmektedir.



ekil 3.10: Çok eksenli 3D dokuma a) iplik tabakalar, b) çok eksenli 3D kuma (Ünal, 2012)

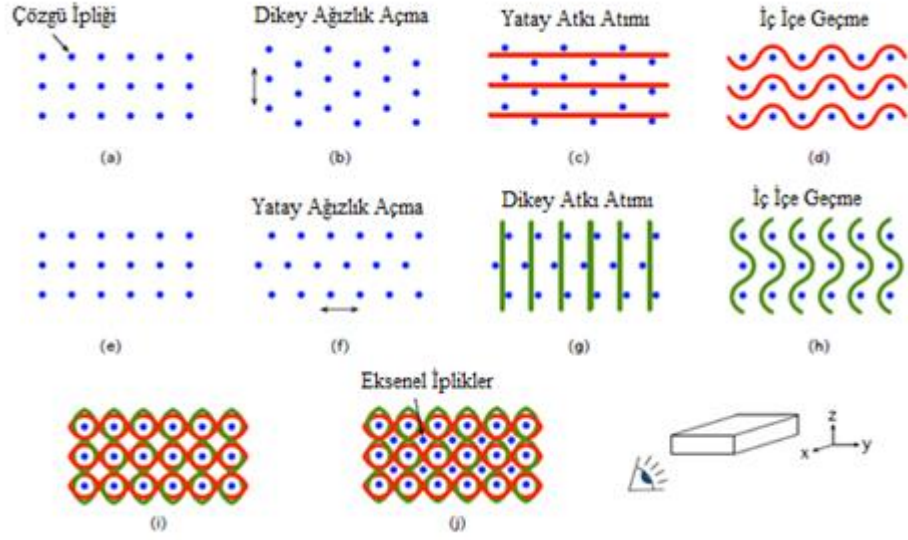
Üç boyutlu dokuma kumaşlar dairesel olarak da üretilmektedir. Bilindiği gibi, 2000 yılında geliştirilen sistemde her bir iplik grubu yer almaktadır. Bu iplikler aksel, radyal, çevresel ve çapraz (+45°, -45°) olarak yapılmış, içerisinde yer almaktadır. Sistemde çevresel ve radyal iplikler aksel ipliklerin etrafında bir dokuma katman oluşturmaktadır. Şekil 3.11'de üç boyutlu dairesel dokuma mekanizması, ve üretilen kumaş gösterilmektedir.



Şekil 3.11: Dairesel, çok eksenli 3D dokuma a) dairesel, çok eksenli dokuma kumaş , b) dairesel, çok eksenli dokuma mekanizması, (Gündoğdu, 2010)

Çok eksenli, üç boyutlu kumaşlarda; yapılmış, içerisinde yer alan her iplik arasında bağlantı bulunmamaktadır. Makinelerin tek bir devirde her iplik tabakasını, kumaşa dâhil edebilmeleri bu sistemler için oldukça önemli bir gelişme olmuştur.

Khokar tarafından 1997 yılında geliştirilen üç boyutlu dokuma yönteminde her bir iplik grubunun birbiri ile bağlantı yapması amaçlanmıştır. Bu yöntemde çözümlenmiş iplikleri; çeşitli sistemler vasıtasıyla yukarı, aşağı, ve sağa, sola hareket ettirilerek kumaş üretimi sağlanmıştır (Şekil 3.12).



ekil 3.12: Çok eksenli a ,zl,k açma mekanizmas, le 3D kuma üretilimi (Stig, 2012)

Üç boyutlu dokuma kuma lar kompozit endüstrisinde kullan,ld,klar, için mukavemet ve a ,rl,k de erleri oldukça büyük bir önem ta ,maktad,r. Yap, içerisinde bulunan her bir ipli in ba lant, yapt, , üç boyutlu dokuma kuma lar; di er kuma çe itlerine nazaran oldukça yüksek mukavemet de erlerine sahiptir.

3.2 Üç Boyutlu Dokuma Kuma lar,n S,n,fland,r,lmaz,

Üç boyutlu dokuma kuma lar birçok farklı ekilde kategorize edilebilmektedir. Dokuma prosesi, ipliklerin yap, içerisinde yerle me geometrisi, birim kuma hücrelerinin mikro ve makro yap,s,; bu kuma lar,n s,n,fland,r,labildi i konulard,r.

Birçok farklı bilim adam, üç boyutlu dokuma kuma lar üzerine s,n,fland,rma yapm,t,r. Khokar bu yap,lar, dokuma prosesi, kullan,lan iplik gruplar, ve olu turulan yap,ya ba l, olarak alt, grupta s,n,fland,rılmaktad,r. Chen ise birim kuma

hücresinin makro yapısını, dikkate alınarak dört farklı grup oluşturulmuştur. Bu yapıların sınıflandırma yönteminde kumaşlar Solid, Hollow, Nodal ve Shell olarak ayrılmaktadır.

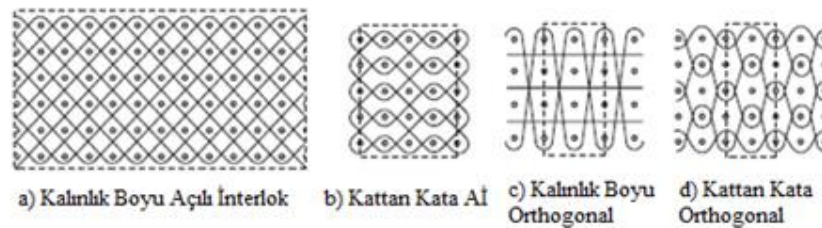
Üç boyutlu dokuma kumaşlarında bulunan ipliklerin; yapıya yerleşim geometrilerine göre ayırmak da mümkündür. Bu kapsamda üç boyutlu dokuma kumaşlar; orthogonal ve açılı interlok olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.

Orthogonal yapılarda baskın iplikler kumaş katları ile 90°'lik açı yapmaktadır. Açılı interlok kumaşlarda ise çözgü iplikleri ve atk ipliklerinin oluşturduğu kumaş tabakaları arasında belirli bir açı derecesi bulunmaktadır. Bu değer üretilmek istenen yapıların özelliklerine bağlı olarak ayarlanabilmektedir.

Her iki kumaş çeidi için yapıya güçlendirici iplikler ilave edilebilmektedir. Bu iplikler kumaş dokulduğunda uzanarak kumaş lif/hacim oranının artmasını ve dolayısıyla mukavemetin yükselmesini sağlamaktadır.

Orthogonal kumaşlar açılı interlok yapılarına nazaran yüksek lif/hacim oranına sahiptirler. Açılı interlok yapıları ise orthogonal kumaşlara nazaran yüksek elastikiyet özelliklerine sahiptirler.

Orthogonal ve açılı interlok kumaşlarında bulunan baskın ipliklerin geometrilerine bağlı olarak iki gruba ayrılabilir. Eğer baskın iplik kumaş içerisinde sadece belirli katlar arasında baskın yapıyorsa kattan katta kumaş kalınlığı boyunca baskınlığını gerçekleştiriyorsa kumaş kalınlığı boyunca orthogonal ya da açılı interlok kumaş olarak adlandırılabilir (ekil 3.13).



ekil 3.13: Orthogonal ve açılı interlok 3D dokuma kumaş çeitleri

4. SONLU ELEMANLAR METODU

Do ada meydana gelen her olay; uygun matematiksel denklemler vasıtasıyla modellenmektedir. Mühendislik problemleri oldukça kompleks bir yapıya sahip oldukları için bazı problemlerin net çözümleri ortaya koyulamamaktadır. Analitik çözüme sahip olmayan, karmaşık mühendislik problemleri; numerik matematiksel yöntemlerle çözülebilmektedir. Elde edilen sonuçlar analitik çözümler kadar gerçek sonuca yakın olmasa da, sonuç hakkında oldukça güvenilir sonuçlar alınabilmektedir.

Numerik bir matematiksel çözüm yöntemi olan sonlu elemanlar metodu, 1950'li yıllardan itibaren mühendislikte kullanılan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Genel bir tanım ile sonlu elemanlar metodu; karmaşık olan problemlerin daha basit alt problemlere ayrılarak, her birinin kendi içinde çözülmesiyle tam çözümün bulunduğu bir yöntem olarak ifade edilebilmektedir.

Mekanik, havacılık, inşaat, otomotiv vs. gibi endüstrilerde kullanılan alanlar sonlu elemanlar metodu; statik- dinamik, elektrik, mekanik, elektromanyetik, jeomekanik, biomekanik vs. gibi farklı alanlarda ki problemlerin çözümünde kullanılabilmektedir.

Sonlu elemanlar metodu ile yapılan analizde; incelenen sistem içerisinde yer alan, analitik çözüm denklemine sahip grupların çözüm denklemleri bir araya getirilerek sisteme ait lineer denklem takımını oluşturulmaktadır. Sistemi oluşturan grupları kapsayan diferansiyel denklemler vasıtasıyla ifade edilmektedir.

Sonlu elemanlar metodu ile problemin çözümü için; sistemi oluşturan grupların denklemlerinin elde edilmesi için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Ancak en çok kullanılan üç yöntem ifade edilmektedir.

Direkt Yaklaşım: Problemin ana hatlarına bağlı olarak en temel şekilde çözümüdür.

Açık, Yaklaşım: Bu çok yönlü yöntem, s, transferi ve ak, kanlar mekani i gibi karma ,k problemlerin istenilen yöne a ,rl,k verilerek çözümünü kapsar.

Kararsızlık Yaklaşım: Genellikle kararsız olarak kendini gösteren özelliklerin temel alınmasıyla uygulanır. Genel olarak sistemin potansiyel enerjisine göre kararsızlık belirlenir.

4.1 Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması,

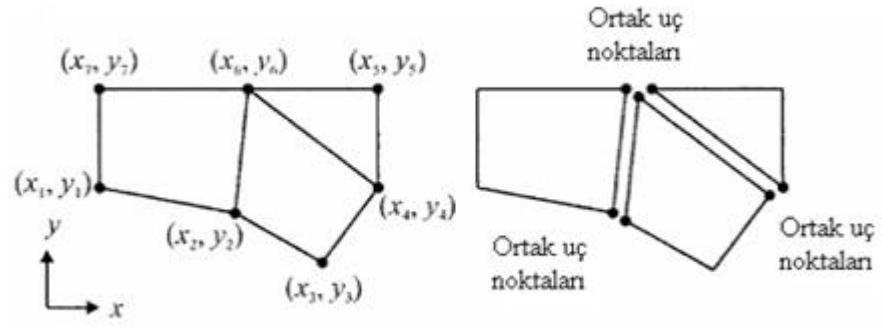
Sonlu elemanlar modeli; sonlu sayıda ki küçük parçalardan meydana gelmektedir. Sonlu sayıda ki elemanlar, n meydana getirdiği yapıya a (mesh) denmektedir.

Oluşturulan model vasıtasıyla problemin gerçek sonucuna bir yaklaşım yapılmaktadır. Sistem içerisinde bulunan parçaların sayısı, s, n, n arttırılması, ve ya kullanılan fonksiyonun derecesinin yükseltilmesi elde edilen sonuçların hassasiyetini arttırmaktadır.

Sonlu elemanlar metodu yapıya ait kısmi türevli diferansiyel denklemi lineer cebirsel denklemlere dönüştürerek çözüm sağlamaktadır. Sistemin modellenmesinde üç (düüm) noktalar, elemanlar ve aolu turma büyük rol oynamaktadır.

4.1.1 Uç (Düüm) Noktalar,

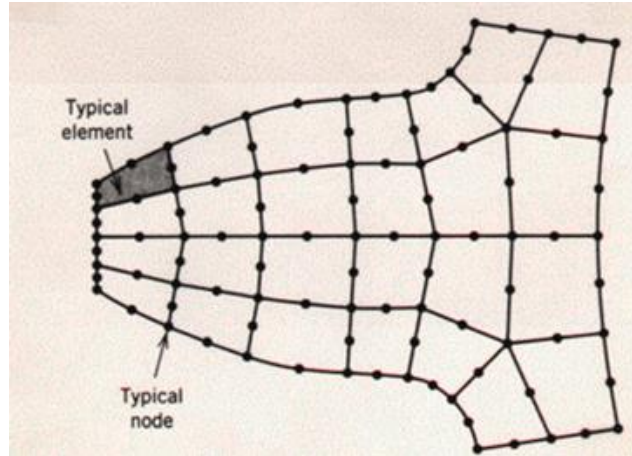
Mühendislikte karşılaşılan problemlerin matematiksel ifadelerle dönüştürülmesi; sistemin matematiksel olarak ifade edilebilen, küçük parçalara bölünmesi ile sağlanabilmektedir. Küçük parçalar, birbirlerine düüm noktalar ile bağlanmaktadır. Şekil 4.10'de düüm noktalar, görsel olarak ifade edilmiştir.



ekil 4.1: Uç (Düüm) Noktalar,

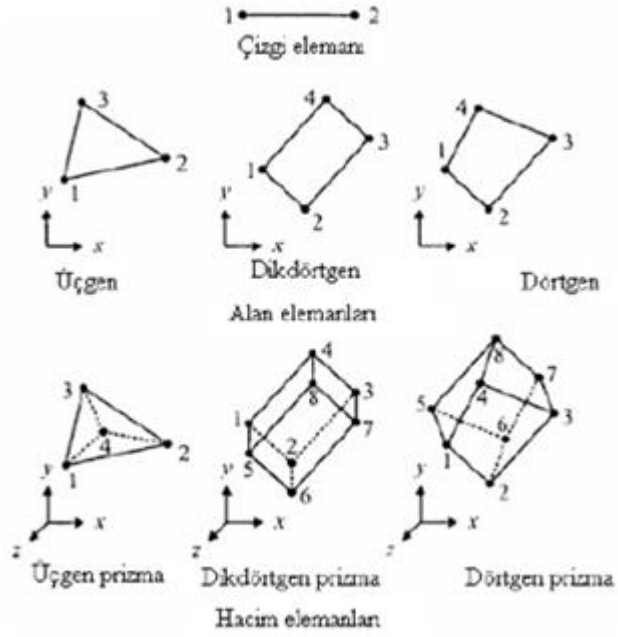
4.1.2 Eleman

Sonlu elemanlar metodunda, sistemin bölündü ü en küçük parçaya eleman ad, verilmektedir. Elemanlar bir araya gelerek yapı,y, olu turmaktadır. Her eleman bir eleman numaras, ve dü üm noktalar,ndan olu maktadır. ekil 4.2ø de eleman ve dü üm noktalar, gösterilmektedir.



ekil 4.2: Eleman ve dü üm noktas, (Liu, 2003)

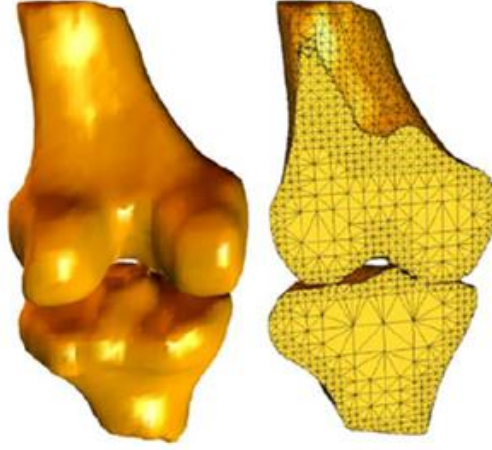
Modellenmek istenen problem, yap,s,na ba l, olarak çizgisel, alansal ya da hacimsel elemanlara bölünebilmektedir. Elemanlar, kullan,m yerlerine ba l, olarak çizgi, alan ya da hacim elemanlar, olarak s,n,fland,r,labilmektedir. ekil 4.3ø te eleman çe itleri görsel olarak ifade edilmi tir.



ekil 4.3: Boyutlar,na göre eleman çe itleri

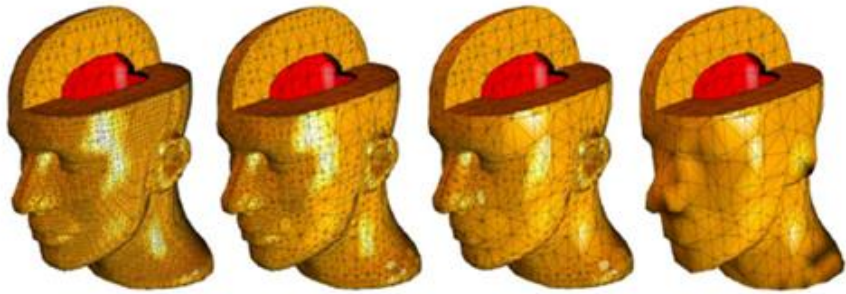
4.1.3 A (Mesh) Olu turma

A olu turma i lemi; sonlu elemanlar metodunun temel a amalar,ndan biridir. Bu i lemde sisteminin bütünü çe itli elemanlara bölünmektedir. A olu turma i leminden sonra sistem; dü üm noktalar, ile birbirine ba lanm, elemanlar,n olu turdu u örgü halini al,r. ekil 4.4ø te insan eklem yerinin modellenmesi ve uygulanan a i lemi gösterilmi tir.



ekil 4.4: nsan eklem yerinin S.E ile modellenmesi ve a olu turma i lemi (Yongjie, 2005)

A olu turma i leminde, sistemin fiziksel yap,s,na ba l, olarak üçgen ya da dikdörtgen ekindeki eleman çe itleri kullan,labilmektedir. Kullan,lan eleman çe idi, i lem sonucunu direk olarak etkilemektedir. Ayr,ca a olu turma i leminde kullan,lan olan eleman say,s,n,n artt,r,lmas, elde edilecek olan sonucun hassasla arak sonuca bir ad,m daha yakla mas,n, sa layacaktır. ekil 4.5ø te insan kafa bölgesine uygulanan a olu turma i lemi ve kademeli olarak eleman say,s,n,n artt,r,lmas, i lemi gösterilmektedir.



ekil 4.5: Kademeli a olu turma i lemi (Zhang, Y, 2005)

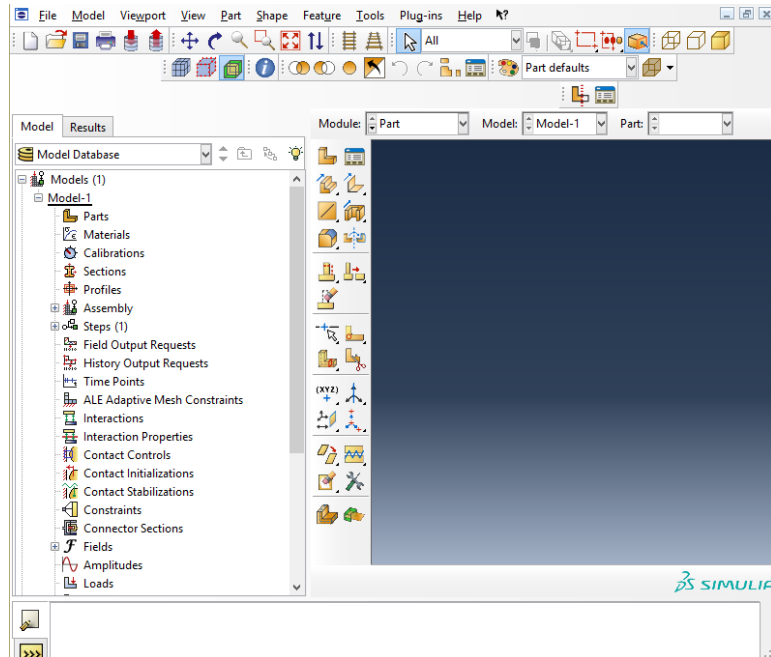
4.2 Abaqus

Mühendislikte kararlaştırılan problemlerin çözümünde kullanılan, bir simülasyon programı olan Abaqus, sonlu elemanlar metoduna dayanmakta ve problemleri basit lineer analizlerden, lineer olmayan zorlayıcı, simülasyonlara kadar çözebilmektedir.

Genel amaçlı, bir simülasyon programı olarak dizayn edildiği için sadece gerilim ya da yer deplasmanı analizlerinin yanı sıra, stres transferi, akışkan mekaniği, piezoelektrik, akustik vs. gibi problemlerinde kullanılabilmektedir.

Abaqus programı, lineer ve lineer olmayan problemler için geniş bir yelpeseye kabiliyeti göstermektedir. Birden fazla parçadan meydana gelen yapısal problemlerde her bir parça için geometri oluşturulabilmekte, uygun materyal özellikleri; modellenen malzemeye aktarılabilen temas ve kontakt bağlantıları, kurgulanabilmektedir. Şekil 4.6'da Abaqus programına ait yelpeseye alan, görsel olarak ifade edilmektedir.

Tez yelpeseye alan, kapsamında Abaqus programının 6.10 versiyonu ile modelleme ve analiz işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4.6: Abaqus yelpeseye alanı,

5. SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

Sonlu elemanlar analizi, bilgisayar destekli modelleme ve analiz olmak üzere iki farklı amaçla meydana gelmektedir. Modelleme işlemi için birçok farklı program (SolidWorks vb.) kullanılabilir. Abaqus programında, analiz işleminin yanı sıra modelleme de yapılabilir. Bu için, geniş kapsamda her iki işlem Abaqus'ta gerçekleştirilir.

5.1 Modelleme işlemi

Tekstil yapılar, geometrik veya mekanik olarak modellenmektedir. Geometrik modelleme sonucu elde edilen veriler, genellikle mekanik modellemeler için giriş bilgilerini oluşturur.

Tekstil yapıların geometrik modellenmesi, yüzeyin mikro ya da makro geometrisi baz alınarak yapılabilir. Geometrik modelleme işleminde ilk amaç olarak yapı oluşturulan ipliğin enine kesit şekli ve yapı içerisindeki yolu modellenmektedir. Literatürde ipliğin enine kesitinin modellenmesi konusunda birçok çalışma mevcuttur.

İpliğin enine kesitinin ve yapı içerisindeki yolunun ilk olarak modellenmesi 1937 yılında Peirce tarafından gerçekleştirilmiştir. Peirce iki boyutlu bir bezaya, kumaş, geometrik olarak modellemiştir. Yapılan çalışmalar, maddesel iplik enine kesiti silindirik, iplik yolu ise düz çizgilerle ifade edilmiştir fakat oluşturulan sistem yapıların özelliklerini tam olarak ifade edememiştir. Sonrasında Peirce iplik enine kesitini elips şeklinde modelleyerek deneysel verilere daha yakın sonuçlar elde etmiştir.

Hearle ve Shanahan 1978 yılında iplik enine kesitini mercek şeklinde modellemiştir. Elde edilen geometrik şekil, Peirce tarafından oluşturulan modele nazaran kumaş özelliklerini daha doğru bir şekilde ifade etmiştir.

Searles 2001 y,l,nda mikroskop ile görüntü alarak iplik enine kesitini alt ve üst k,s,m olarak iki halde modellemi tir. Elde edilen sonuçlar, öncesinde yap,lan di er çal, malara nazaran kuma ,n özelliklerini daha do ru bir ekilde yans,tm, t,r.

plik enine kesitinin, kuma içerisinde görüntülenmesi ve sahip oldu u iç- d, çap de erinin saptanmas, konusunda birçok farklı yöntem kullan,labilmektedir. Mikroskopi, tomografi, görüntü okuma, optik tarama bu yöntemlere örnek olarak gösterilebilmektedir.

Tekstil yap,lar,n,n mekanik olarak modellenmesi, bilgisayar destekli numerik ya da analitik yöntemler ile gerçekleştirilebilmektedir. Numerik modelleme i leminde genellikle sonlu elemanlar yöntemi ile çal, an bilgisayar programlar, tercih edilmektedir.

Tarfaoui ve Akasbi 2001 y,l,nda mono filamentlerden olu an bezaya , bir kuma , sonlu elemanlar yöntemi ile modellemi lerdir. Yap,lan bir di er çal, ma ise Boisse taraf,ndan 2001 y,l, içerisinde gerçekleştirilmi tir. Boisse bu çal, mas,nda iki eksenli taraf,ndan kuvvete maruz kalan iki boyutlu bir tekstil yüzeyini sonlu elemanlar metodu ile modellemi tir. Çal, mada ipli in enine kesiti alt ve üst k,sm, olmak üzere iki farklı ekilde modellemi tir. Modelleme sonucunda, deneysel veriler ile oldukça yakın de erler elde edilmi tir.

Tez kapsam,nda; cam liflerinden imal edilmi , ba lay,c, ipli in kuma kal,nl, , boyunca ba lant, yapt, , üç boyutlu dokuma kuma modellenmi tir. Kuma , bir bütün halinde ya da birim kuma hücresi olarak modellenebilmektedir. Modellenmek istenen yap,n,n hacminin artt,r,lmas,, model içerisinde bulunan eleman ve dü üm nokt, say,s,n, artt,r,maktad,r. Eleman say,s,nda meydana gelen art, ; analiz a mas,nda i lemlerin uzamas, ve yap,lm,as, gereken i lem basamaklar,n,n artmas,na sebebiyet vermektedir.

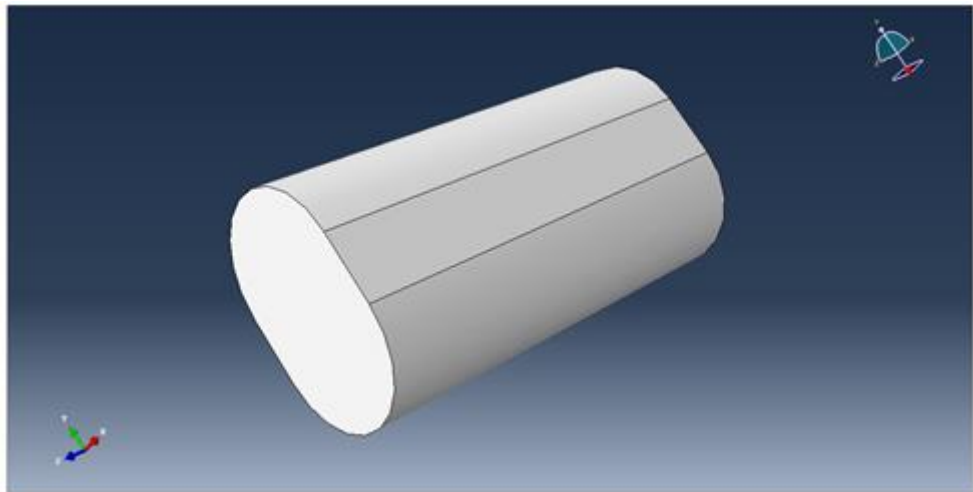
Modellenmek istenen kuma , yap, boyunca tekrar eden ve kuma , mekanik davran, lar aç,s,ndan birebir temsil eden birim kuma hücresi baz al,narak yap,lm, t,r. Birim kuma hücresinin modellenmesi; gerek tasar,m gerekse de analiz i lemlerinin daha k,sa sürede tamamlanmas,n, sa lam, t,r.

Modelleme i leminde ilk a ama olarak ipli in modellenmesi sa lanm, t,r. Sonras,nda iplikler vas,ta, ile birim kuma hücre si modellenmi tir. Kuma olu umunda kullan,lan iplikler, yap, itibar, ile cam filamentlerinden meydana gelmektedir.

Cam ipliklerinin modellenmesi için iplikler tek bir yap, olarak dü ünülmü , iplik yollar, belirlenerek modelleme i lemi sa lanm, t,r. plik enine kesit ekli silindirik, elips ya da di er net geometrik ekil olarak dü ünülmemi tir.

Silindirik ya da elips ekilerin modellenmesi, kontakt bölgesinin alan,n, azaltmakta dolay,s, ile normalden oldukça yüksek maksimum gerilme de erleri elde edilmektedir. Bu i lemde cam ipli inin sahip oldu u enine kesit ekli, enine kesitin iç ve d, çap de erleri; ipli in kuma içerisinde sahip oldu u de erler baz al,narak saptanm, t,r. Daha önce; ipli in yap, içerisinde sahip oldu u enine kesit de eri üzerine yap,lan çal, malar bu varsay,m, destekler niteliktedir (Kemp 1958; Peirce 1937).

Modelleme i leminde, cam ipli inin enine kesitinin iç ve d, çap de erleri; 1mm ve 0,7mm olarak belirlenmi tir. ekil 5.1øde Abaqus program, ile modellenen bir cam ipli i gösterilmektedir.

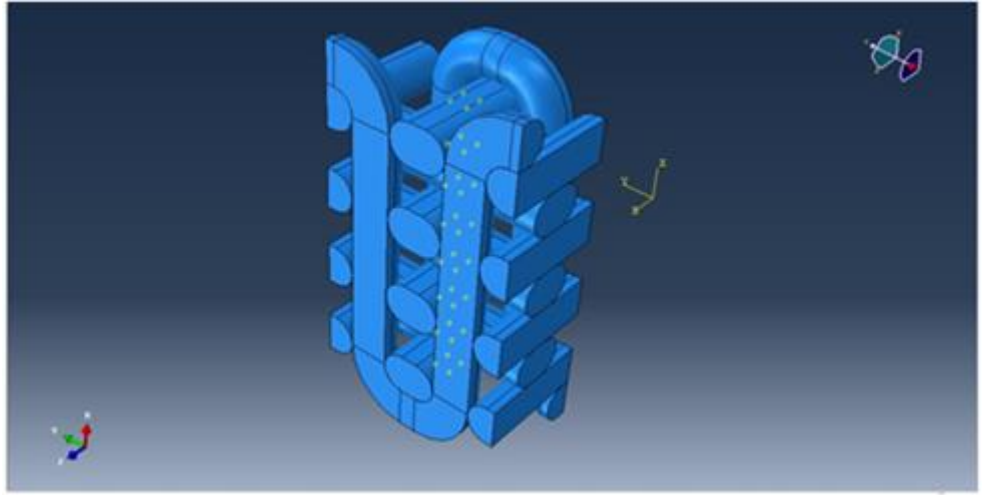


ekil 5.1: Abaqus ile modellenen cam ipli i

Birim kuma hücresi,

- i. 2 adet ba lay,c, çözgü ipli i,
- ii. 8 adet atk, ipli i
- iii. 3 adet aksenal çözgü ipli inden olu maktad,r.

Birim kuma hücresi 6,3 mm kal,nl,k, 2 mm uzunluk ve 3,4 mm geni lik de erine sahiptir. ekil 5.2øde modellenen birim kuma hücresi gösterilmektedir.



ekil 5.2: Modellenen birim kuma hücresi

5.2 Analiz lemi

Sonlu elemanlar analiz i lemi çe itli a amalardan meydana gelmektedir. A amalar s,rayla incelenecek olursa;

5.2.1 Malzeme Özelliklerinin Atanmas,

Sonlu elemanlar analiz yönteminde; modelleme i leminin tamamlanmas,n,n ard,ndan yap,y, olu turan parçalara çe itli malzeme özellikleri atanmaktadır.

Malzeme özelliklerinin aktarılması, ile modellenen yapıların, hedef malzemeyle benzeri mekanik performans göstermesi hedeflenmektedir.

Cam lifinin bahsi geçen özellikler için baz alınan değerleri aşağıda verilmektedir;

Elastisite Modülü: 86000 MPa,

Poission Oran,: 0.22,

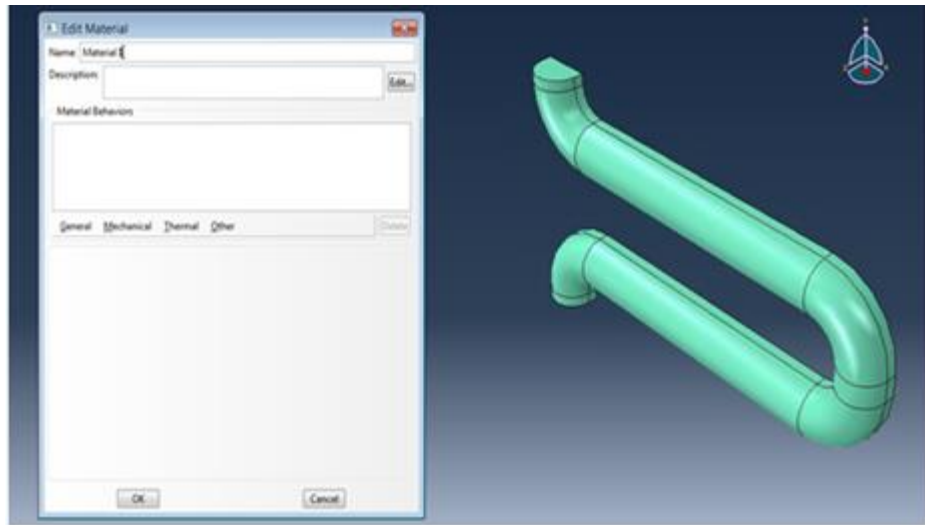
Malzeme Yoğunluğu: 2540 kg/ m³,

Gerilme Dayanımı: 1538 MPa,

Azami Gerilme Dayanımı: 3100 MPa,

İplik Sürtünme Katsayısı: 0.3'dür.

Belirlenen iplik malzeme özellikleri ekil 5.3'de gösterilen tablo vasıtasıyla modellenen yapıya aktarılmaktadır. Birim kumaş olarak farklı iplik gruplarına materyal özelliklerinin atanması, ayrı ayrı yapılmaktadır. Dolayısıyla ile Abaqus programı; atk ve çözümlü iplikleri için farklı lif çapları ile çalışması, halinde farklı materyal özelliklerinin atanabilmesini mümkün kılmaktadır.



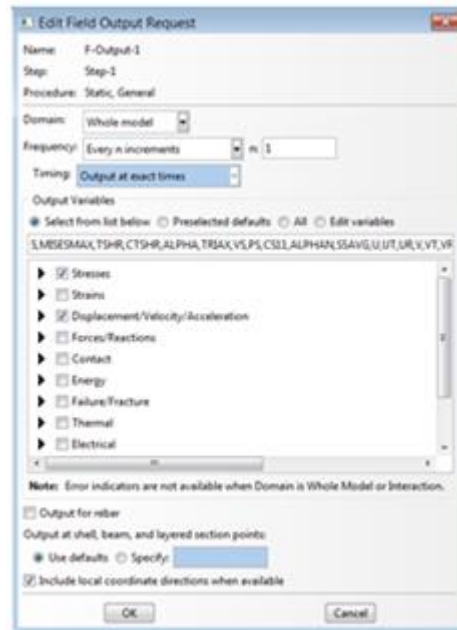
ekil 5.3: Malzeme özellikleri aktarım tablosu

Abaqus vasıtasıyla, gerilme ve yer deplasmanı analizlerinin yanı sıra, akışkan mekaniği, piezoelektrik vs. gibi konularda karşılaşılan problemlerin çözümü de sağlanabilmektedir. Bahsi geçen problemlerin çözümü ile ilgili çeşitli özelliklerin atanması, aşağıdaki tabloda farklı kategoriler altında yapılmaktadır.

5.2.2 Analiz Yönteminin Belirlenmesi

Sonlu elemanlar analizi ile birçok alanda, farklı türdeki problemlerin çözümü yapılabilmektedir. Abaqus problemi statik- dinamik analiz, yer deplasmanı, gerilme, akışkan mekaniği, elektriksel vs. gibi problemlerin çözümünde kullanılabilmektedir.

Modelleme işleminin tamamlanmasından sonra analiz türünün belirlenmesi gerekmektedir. Analiz türünün belirlenmesi; çekme deneyi baz alınarak yapılmaktadır. Bu kapsamda yer deplasmanı ve azami gerilme değerlerinin analiz edilmesine karar verilmiştir. Ekil 5.4'te Abaqus programı için analiz türü seçiminin yapılabildiği pencere gösterilmektedir.



ekil 5.4: Analiz türünün belirlendiği tablo

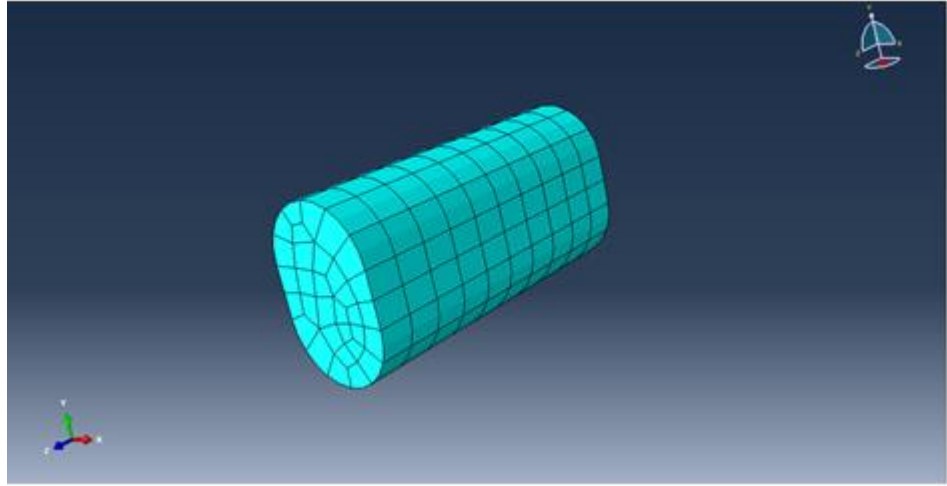
5.2.3 Modelin A Yapı Haline Getirilmesi (Meshing)

Sonlu elemanlar analizinde problem, matematiksel olarak çözümlenen küçük gruplara ayrılmaktadır. Bu gruplar bir araya gelerek yapıyı oluşturmakta, çözüm ise yapıyı oluşturan (meshing) olarak adlandırılmaktadır.

Açık yapı için sonlu elemanlar metodu için temel bir yapıdır. Bu yöntem problemin sonucunu direkt olarak etkileyebilmektedir. Yapıda, parçaları oluşturan elemanların sayısı ve sahip oldukları şekilleri büyük önem taşımaktadır.

Parçaları oluşturan elemanların sayısının artması, sonucun hassasiyetini yükseltecektir. Elemanlar, üçgen ya da dikdörtgen şeklinde olabilmektedir. Bu durum tamamen modellenen yapıların fiziksel özelliklerine bağlıdır.

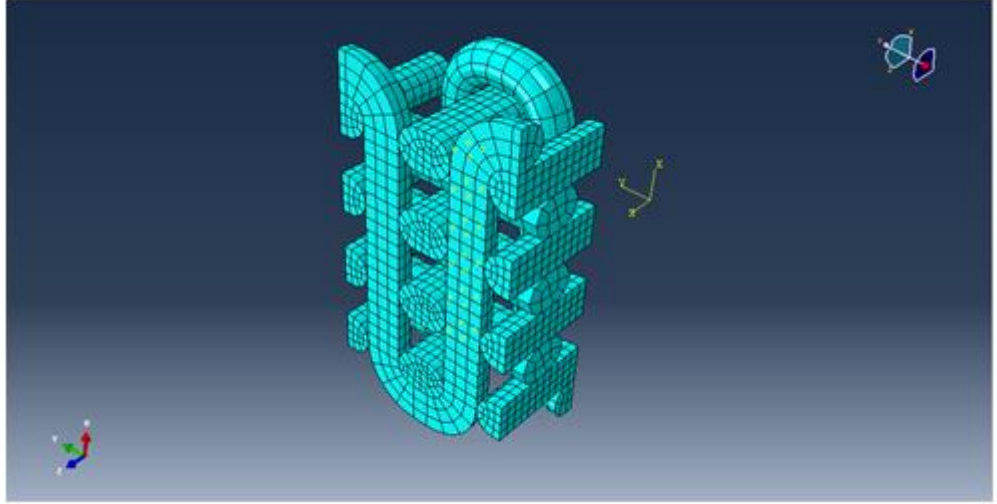
Şekil 5.5'de yapıya uygulanan açık yapı için kullanılan yapıyı oluşturan yöntem gösterilmektedir.



Şekil 5.5: Yapıya uygulanan açık yapı için kullanılan yapıyı oluşturan yöntem

Açık yapı için yapıyı oluşturan her parça için ayrı ayrı uygulanmaktadır. Dolayısıyla, yapı için her parça için eleman sayısı ve şekli

ayarlanabilmektedir. ekil 5.6ø da birim kuma hücrelerine uygulanan a olu turma i lemi gösterilmektedir.



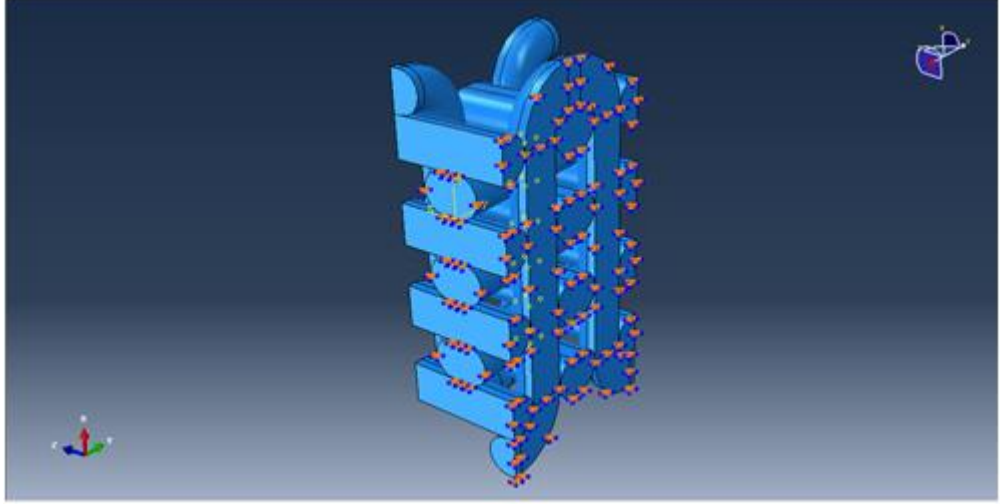
ekil 5.6: Birim kuma a uygulanan a olu turma i lemi

5.2.4 S,n,r artlar,n,n Uygulanmas,

Sonlu elemanlar metodunda s,n,r artlar,n,n belirlenmesi; kuma a uygulanan deney artlar,n,n iyi analiz edilmesi ile saptanmaktadır. Numune kuma a çekme deneyi uygulanm, t,r. Ayn, s,n,r artlar,n,n sonlu elemanlar analizinde uygulanabilmesi için birim kuma bir kenar,ndan sabitlenmekte, di er kenar,ndan ise yük uygulama i lemi gerçekleştirilmektedir.

Numune kuma a uygulanan çekme deneyi göz önünde bulunduruldu unda, yap, içerisinde yer alan eksenel çözgü ipliklerine do rudan bir yük binmemektedir. Eksenel iplikler kuma boyunca uzanmakta ve di er iplikler ile temas halinde bulunmaktadır. Analizde, s,n,r artlar, kapsam,nda sadece birim kuma hücrelerinin bir kenar,n,n sabitlenmesi; di er ipliklere yük bindi inde eksenel çözgü ipliklerinin serbest hareket yapmas,na neden olmaktadır. Bu durum yap, içerisinde gere inden fazla yer de i im olmas,na ve sistem sonuçlar,n,n yanl, olarak elde edilmesine sebebiyet vermektedir.

Çekme deneyinin analiz a mas,nda bire bir tasvir edilebilmesi için hem birim kuma hücresinin bir kenar, hem de serbest olarak hareket eden aksenal çözü ipliklerinin sabitlenmesi yap,lm, t,r. Bu kapsamda s,n,r artlar, olu turularak analiz i leminin bir a mas, daha tamamlanm, t,r. ekil 5.7ø de birim kuma hücresine uygulanan s,n,r artlar, görsel olarak ifade edilmi tir.

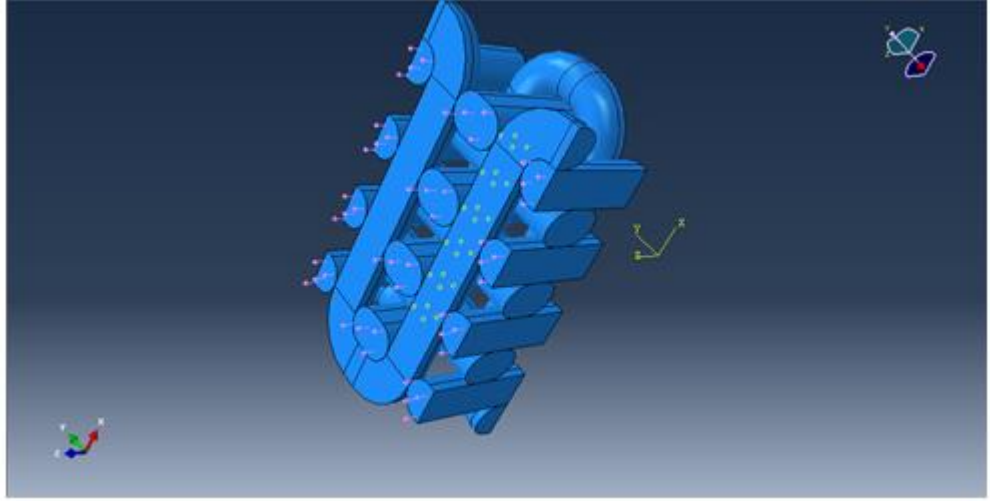


ekil 5.7: Birim kuma a uygulanan s,n,r artlar,

5.2.5 Yap,ya Yük uygulanmas,

Sonlu elemanlar analizinde yap,ya, istenen nokta ya da alanlarda kuvvet, bas,nç veya moment de erleri uygulanabilmektedir. Yükø ün hangi de erde, hangi bölgelere uygulanaca , numune kuma a uygulanan test yönteminden yola ç,k,larak saptanabilmektedir.

Numune kuma ,n mukavemet test cihaz,nda çeneler vas,ta, ile çekilmesi sa land, , için modellenen yap,ya noktasal kuvvet uygulanmas, yerine belirli bir alana etki eden kuvvet de erinin uygulanmas, daha do ru bir yakla ,m olmaktadır. Alansal kuvvet de erlerinin uygulanmas, ile birim kuma kenar,nda yükün homojen olarak da ,t,lm, sa lanabilmektedir. Dikkat edilmesi gereken nokta, alansal kuvvet de erinin kuma kenar,ndan d, ar,ya do ru yönlendirilmesi gerekti idir. ekil 5.8ø de modellenen birim kuma hücresine yük uygulama i lemi gösterilmektedir.



ekil 5.8: Birim kuma a yük uygulama i lemi

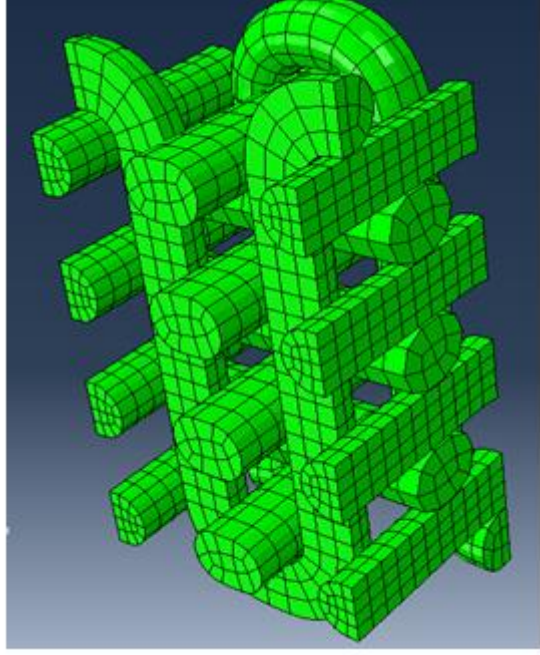
5.2.6 Analizin Yapılması,

A yapı, s, olu turulup, s,n,r artlar, belirlenen model; uygulanan yük ile analize hazır hale gelmektedir. Analiz i lemi, analiz türünün tespiti a mas,nda yapılan seçime göre sonuç üretecektir.

Analiz i leminin süresi kullanılan bilgisayar,n özelliklerine birinci dereceden ba l,d,r. Analizin gerçekleştirilece i bilgisayar belle inde yeterli alan,n olmas, ve bilgisayar özelliklerinin analiz ihtiyaçlar,n kar ,lamas, oldukça önemlidir.

Abaqus program,nda, modele yük uygulanmas, ile yapı,da meydana gelen ekil de i imleri analiz sonucunda gözlemlenebilmektedir.

Birim kuma hücrelerine, uygulanan yük sonrasında yapı,da meydana gelen de i im ekil 5.9da gösterilmektedir.



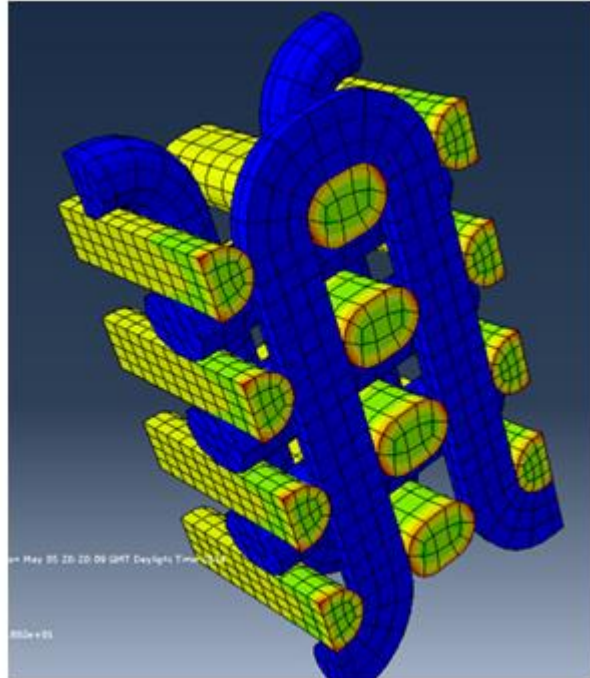
ekil 5.9: Birim kuma ta meydana gelen ekil de i imi

6. ARA TIRMA SONUÇLARI VE TARTI MA

Sonlu elemanlar analizi ile üç boyutlu orthogonal dokuma kuma bilgisayar yardımı ile modellenmiş ve analiz edilmiştir. Yapılan analiz i leminde yüzdesel yerde i imve maksimum gerilme de erleri saptanmış, t.r.

Sonlu elemanlar analizi ile sayısal verilerin elde edilmesinin yanı sıra uygulanan yük altında; hangi bölgelerin yüksek gerime de erine maruz kaldı, deformasyonun en fazla hangi kısımda meydana geldi i, yük altında ipliklerin mekanik davranışları, gibi özellikler de analiz edilmiştir.

Analiz i lemi sonunda; birim kuma üzerinde meydana gelen yerde i im miktarı, ve maksimum gerilme de eri bölgesel olarak incelenebilmektedir. ekil 6.1 de sonlu elemanlar analizi sonucu elde edilen gerilme dağılımı, gösterilmektedir.



ekil 6.1: Birim kuma gerilim analiz sonucu

ekil analiz edildi inde; yap,n,n içerisinde homojen gerilim da ,l,m,n, bozan herhangi bir de i iklik gözlemlenememektedir. Bu durum analiz i leminin do ru olarak yap,ld, ,na dair önemli bir noktad,r.

Yükø e maruz kalan birim kuma hücreleri incelendi inde ba lay,c, iplik üzerinde herhangi bir gerilme de i imi olmad, , gözlemlenmektedir. Sebebi, çekme deneyinde ba lay,c, iplikler üzerine do rudan herhangi bir yükø ün binmemesidir. Ba lay,c, ipliklerin bu a amada, yap, içerisinde ki görevleri; iplikleri bir arada tutarak entegre bir yap, olu turmak olmu tur.

Eksenel çözü ve ba lay,c, ipliklerde meydana gelen gerilme de i imi atk, ipliklerine nazaran oldukça dü ük oldu u için atk, iplikleri sar, renge sahip olurken eksenel çözü ve ba lay,c, iplikler mavi renktedir.

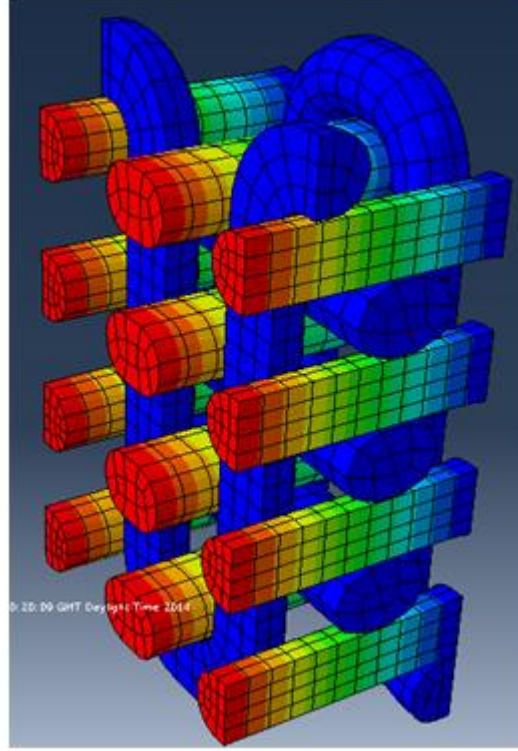
Atk, iplikleri yüke maruz kald, , için yap,s,nda meydana gelen renk de i imi ekil üzerinden gözlemlenebilmektedir. Özellikle ipliklerin sabitlendi i k,s,mda iplik kenarlar, k,r,m,z, renge sahip olmu tur. Bu durum birim kuma hücrede meydana gelen maksimum gerilim de erlerinin bu bölgede olu tu unu göstermektedir.

Tablo 5.1øde uygulanan de i ik yük de erlerine göre yap,da meydana gelen maksimum gerilme de erleri verilmektedir.

Tablo 6.1: Uygulanan yüke göre maksimum gerilme de erleri

Uygulanan Yük De eri (MPa)	Max. Gerilme De eri (MPa)
20	29.86
40	59.72
60	89.59
80	119.4
120	179.2
160	238.9
200	298.6
400	597.2

ekil 6.2ø de birim kuma hücreesine analiz sonucu meydana gelen yer de i imi gösterilmektedir.



ekil 6.2: Birim kuma yer de i im analiz sonucu

ekil 6.2 incelendi inde renk aral, ,n,n maviden k,rm,z,ya do ru de i ti i gözlemlenmektedir. K,rm,z, olan bölgelerde yer de i im miktar, maksimum de erde iken mavi olan k,s,mlar di er bölgelere nazaran oldukça dü ük yer de i im de erlerine sahiptirler.

Çekme deneyinde aksenal çözgü ve ba lay,c, ipliklere do rudan yük uygulanmad, , için mavi renkø e sahip olmu lard,r. Yer de i im miktar, en fazla olarak atk, ipliklerinde gözlemlenmektedir.

Tablo 6.2ø de birim kuma hücresine uygulanan yük de erleri ve yap,da meydana gelen maksimum yüzdesel yer de i imi ifade edilmi tir.

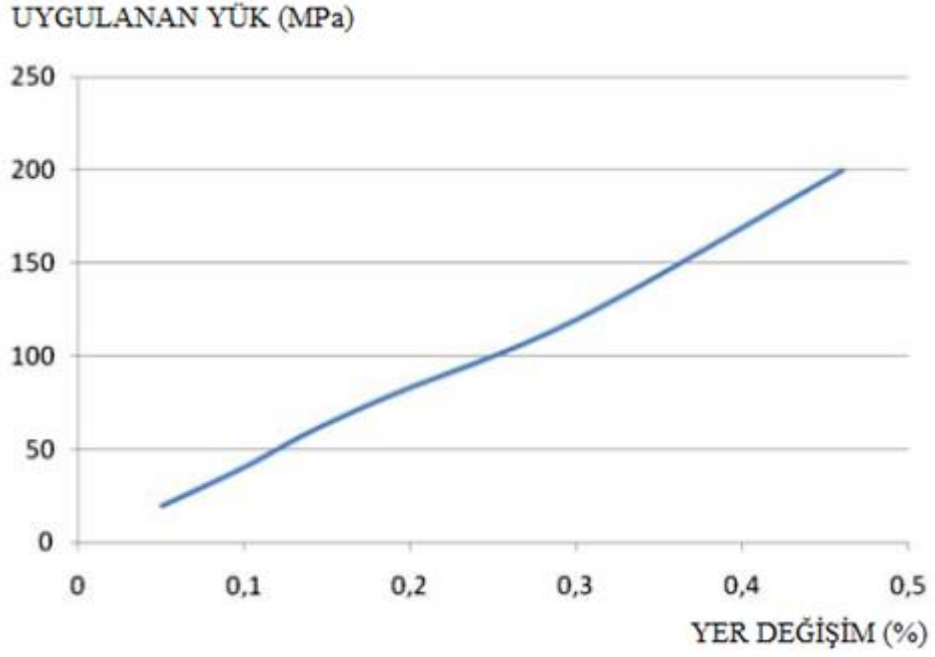
Tablo 6.2: Uygulanan yüke göre yüzdesel yer de i im de erleri

Uygulanan Yük De eri (MPa)	Yer De i im De eri (%)
20	0.047
40	0.093
60	0.14
80	0.19
120	0.28
160	0.37
200	0.47
400	0.93

Üç boyutlu orthogonal dokuma kuma ,n sonlu elemanlar metodu ile modellenmesi, analiz edilmesi ve elde edilen yüzdesel yer de i im, maksimum gerilme gibi de erleri yukarı, k,s,mlarda ifade edilmi tir.

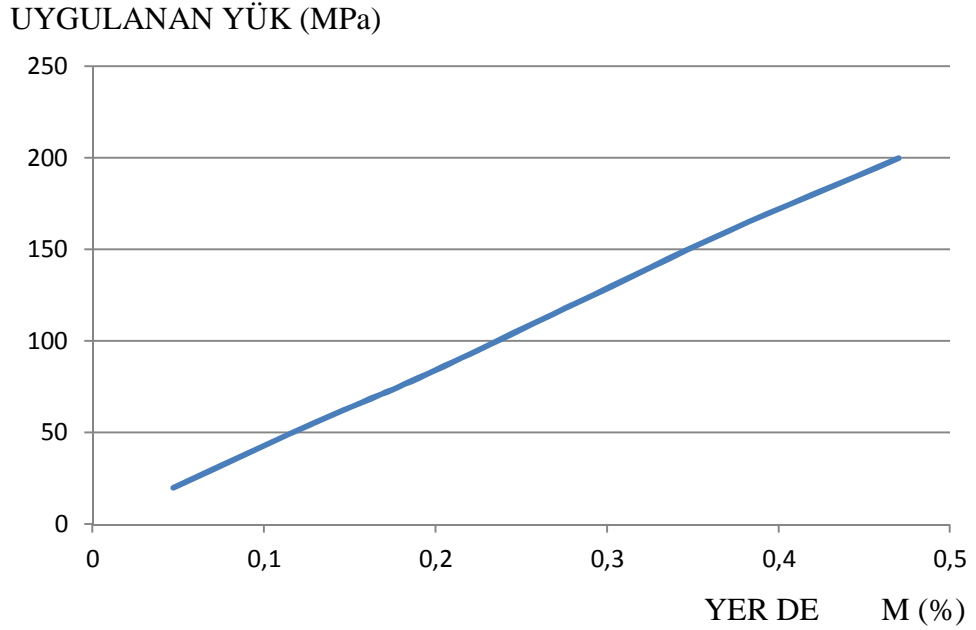
Yap,lan tez çal, mas,nda; ipli in modellenmesi, birim kuma hücresinin olu turulmas,, yap, içerisinde ki iplikler aras,nda temas,n kurulmas,, s,n,r artlar,n,n belirlenmesi, a yap,s,n,n olu turulmas,, eleman çe idinin seçimi gibi a amalar tamamen özgün olarak gerçekleştirilmi tir. Sonlu elemanlar metodundan elde edilen sonuçlar,n güvenilirli inin ispat, için mühendislikte uygulanan di er bir yöntem ile sonuçlar,n,n karşılaştır,mas, ihtiyac, do maktadır. Bu kapsamda bire bir ayn, kuma ø a uygulanan çekme test sonuçlar, referans kaynaktan alınm, t,r (Militky 2012).

Referans kaynakta ayn, kuma a ASTM D5034-09 çekme testi uygulanm, ve ekil 6.3ø te görebilece iniz uygulanan yük- yüzdesel yer de i im grafi i elde edilmi tir.



ekil 6.3: Çekme deneyi sonucu elde edilen yük- yer de i im grafi i (Militky, 2012)

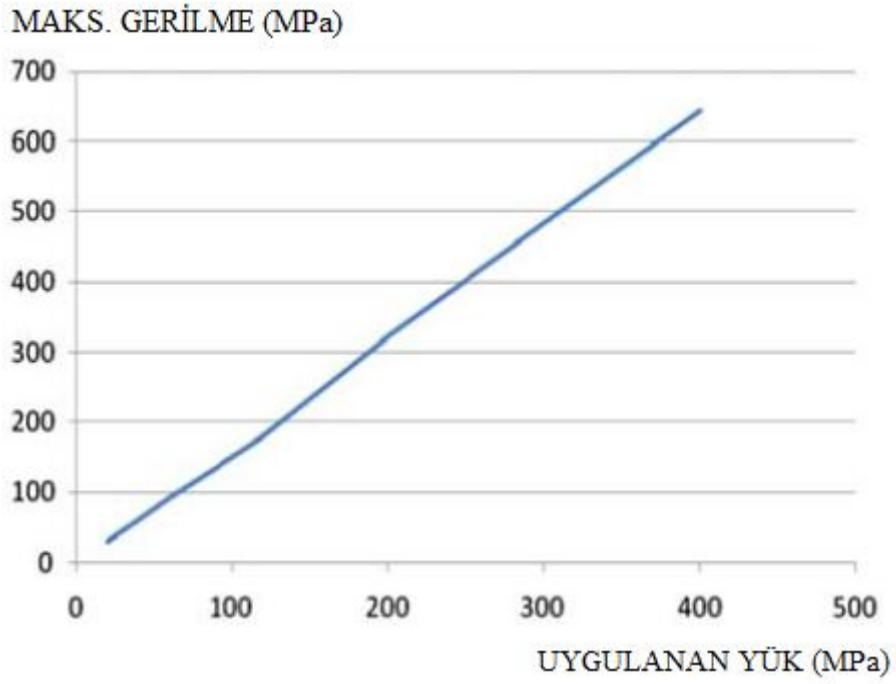
Yapılan modelleme i leminde uygulanan yük ve yapıda meydana gelmesi tahminlenen yüzdesel yer de i im de erleri ekil 6.4te gösterilmektedir.



ekil 6.4: Analiz sonucu elde edilen yük- yer de i im grafi i

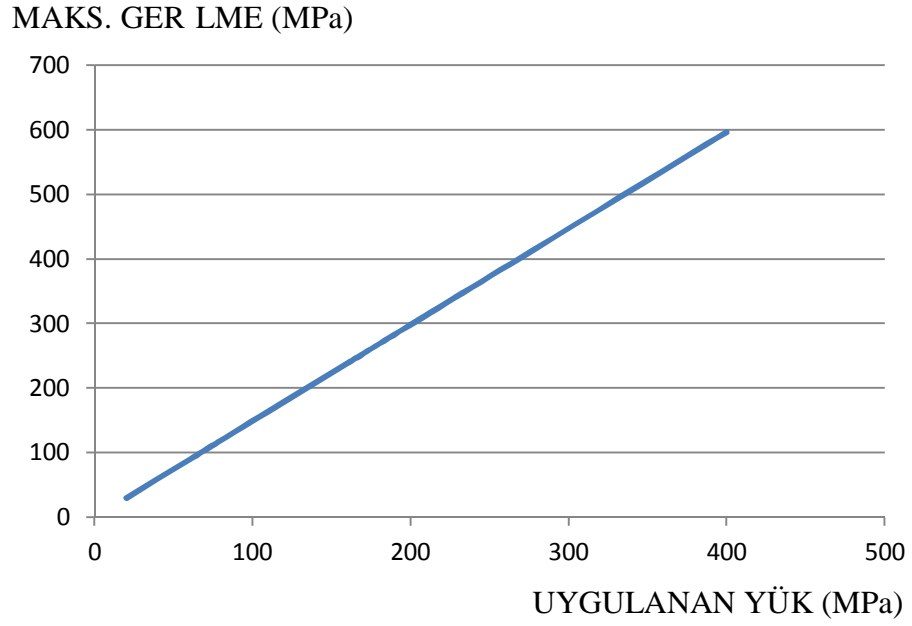
Sonlu elemanlar analizi ve deneysel olarak elde edilen; yer de i im tablolar, k,yasland, ,nda oldukça yak,n de ere ula ,ld, , gözlemlenmektedir.

Referans kaynakta deneysel olarak test edilen kuma , ayn, zamanda farklı bir sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmiştir. Analiz sonunda elde edilen yük- maksimum gerilme de erleri ekil 6.5'te gösterilmektedir.



ekil 6.5: Referans kaynaktan alınan yük- maksimum gerilme grafi i (Militky, 2012)

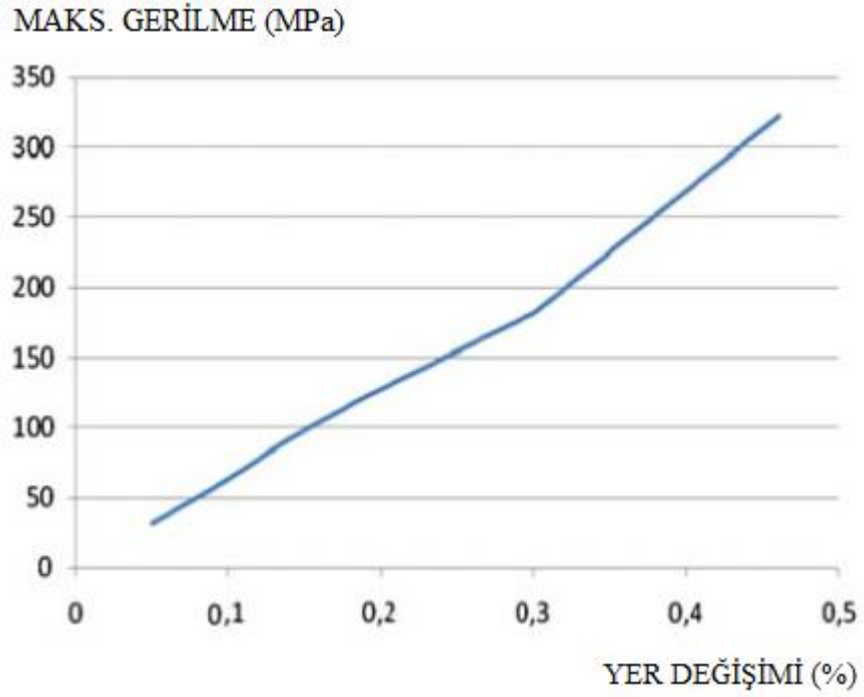
Tez çal, mas, kapsam,nda oluşturulan yük- maksimum gerilme de erleri ekil 6.6'da verilmiştir.



ekil 6.6: Analiz sonucu elde edilen yük- maksimum. gerilme grafi i

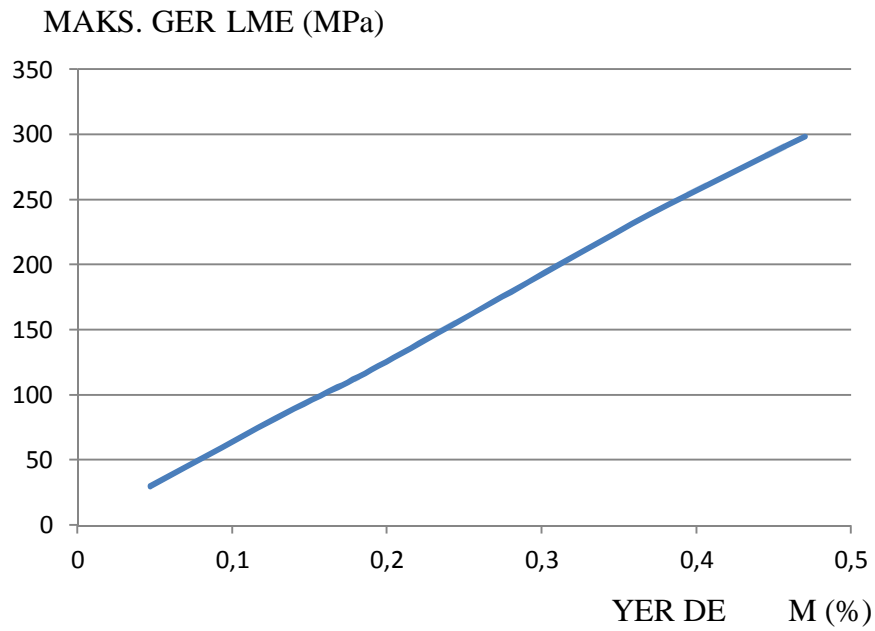
Grafikler incelendi inde; farklı modelleme ve analiz yöntemleri uygulanmış, olmasına rağmen oldukça yakın maksimum gerilme değerleri elde edildiği gözlemlenmektedir.

Referans çalışmada yapılan modelleme sonucunda birim kuma hücrelerinde meydana gelen maksimum gerilme ve yüzdesel yer deşimi değerleri ekil 6.7'de verilmektedir.



ekil 6.7: Referans kaynaktan alınan maksimum gerilme- yer de i imi grafi i (Militky, 2012)

Tez çal, mas, kapsam,nda olu turulan maksimum gerilim ve yüzdesel uzama de erleri ile ekil6.8 ÷de gösterilmektedir.



ekil 6.8: Analiz sonucu elde edilen maksimum gerilme- yer de i im grafi i

Grafikler incelendi inde, genel anlamda yak,n de erlere ula ,ld, , gözlemlenmektedir. Numune kuma ta meydana gelen yer de i imin de eri; cam lifi için uygulanan yük- yüzdesel yer de i im grafi inde elastik bölgede yer almaktadır. Dolay,s,yla numune kuma ,n lineer bir grafi e sahip olmas, beklenmektedir. Tez çal, mas, kapsam,nda; referans çal, maya nazaran daha lineer bir yap,ya sahip maksimum gerilim- yüzdesel uzama grafi inin elde edilmesi sa lanm, t,r.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışması, kapsamında üç boyutlu dokuma kumaşların sonlu elemanlar metodu ile modellenmesi ve analiz edilmesi işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar analizi ve modelleme işlemleri için Abaqus (Versiyon 6. 10) programı kullanılmıştır.

Modelleme işleminin ilk aşaması, olarak iplik enine kesiti, kesit iç ve dış çap değerleri modellenmiştir, sonrasında iplik yolları, vasıtasıyla birim kumaş hücresi oluşturulmuştur. Modelleme işleminin tamamlanmasıyla analiz aşamasına geçilmiştir.

Analiz kapsamında ilk olarak elastisite modülü, Poisson oranı, yoğunluk, gerilme dayanımı vs. gibi materyal özellikleri belirlenmiştir, özellikler iplik gruplarına aktarılmıştır. Sonrasında yapı içerisinde bulunan farklı iplik gruplarına ait oluşturma işlemi uygulanmış, bu kapsamda iplik türüne göre eleman çeşidi ve sayısı belirlenmiştir.

A oluşturulmuş ileminin tamamlanmasıyla birim kumaş hücresinin sonuçları belirlenmiştir, bu aşamada numune kumaşa uygulanan çekme deneyi koşulları göz önünde bulundurulmuştur. Birim kumaşa yük uygulanması aşamasında, çekme deneyi göz önünde bulundurularak noktasal kuvvet yerine belirli bir alana etki eden, eşit büyüklükte kuvvetler kullanılmıştır. Sistemin çalışmasıyla analiz aşaması tamamlanmıştır. Birim kumaş hücresinde yüzdesel yer deşimi ve maksimum gerilme değerleri saptanmıştır.

Sonlu elemanlar analizi sonucu, yapıdaki maksimum gerilim ve yüzdesel yer deşimi daşım bölgesel olarak ifade edildiği görülmüştür. Birim kumaş üzerinde maviye kırmızıya uzanan renk deşimi vasıtasıyla analiz sonucu elde edilen yer deşimi ve gerilme değerleri yorumlanmıştır.

Analiz sonucu elde edilen yüzdesel yer de i im verileri referans kaynaktan al,nan deney sonuçlar, ile kar ,la t,r,lm, , oldukça yak,n sonuçlar elde edilmi tir. Referans kaynakta, üç boyutlu orthogonal dokuma kuma ,n farklı, bir sonlu elemanlar analiz yöntemi ile hesaplanmas, sa lanm, t,r. Uygulanan yükø e göre yap,da meydana gelen maksimum gerilme de erleri aç,s,ndan referans kaynak ile oldukça yak,n sonuçlar elde edilmi tir.

Referans kaynakta birim kuma hücresinde meydana gelen maksimum gerilme ve yüzdesel yer de i im grafi i; tez çal, mas, kapsam,nda da olu turulmu , oldukça yak,n hatta daha lineer bir grafi in elde edilmesi sa lanm, t,r.

Tez çal, mas, kapsam,nda yap,lan modelleme ve analiz i leminde; birim kuma hücresi içerisinde, iplikler aras,nda meydana gelen sürtünme ihmal edilmi tir. iplikler aras,nda meydana gelen sürtünmenin analiz i lemine dâhil edilmesi; ileri a amalarda yap,labilecek önemli bir çal, may, temsil etmektedir.

Üç boyutlu dokuma kuma lar,n farklı, bir sonlu elemanlar analiz yöntemi ile modellenmesi ileri a amalarda yap,labilecek bir di er çal, may, ifade etmektedir. Solid Works, Solid LS- Dyna vs. gibi programlar bu kapsamda örnek gösterilebilir.

iplik enine kesitinin ve ebat de erlerinin modellenmesi, iplikler aras, temas özelliklerinin belirlenmesi, a olu turma i leminde seçilen eleman çe idi ve say,s,n,n tespiti gibi konularda farklı, yakla ,m tarzlar, seçilerek modelleme i lemi gerçekleştirilebilir.

8. KAYNAKLAR

Akalp, U., "Finite Element Modelling of Synthetic Fiber- Ropes" Master Thesis, Bo aziçi University, stanbul, (2011).

Ansar, M., "Modeling strategies of 3D woven composites: A review" Elsevier, 1947- 1963, (2011).

Ba er, G., "Dokuma Tekni i ve Sanat," ISBN 975-96989-3-5, Türkiye: Punto Yay,nc,l,k Ltd. ti., (2004).

Behera, B. and Mishra, R., "3- Dimensional Weaving" Indian Journal of Fibre & Textile Research, Vol:33, Number 3, September, 274- 287, (2008).

Bili ik, K. and Vassiliadis, S. (Ed), "Advances in Modern Woven Fabrics Technology" ISBN 978-953-307-337-8, InTech, (2011).

Bili ik, K., "Multiaxis three-dimensional weaving for composites: A review" Textile Research Journal, Vol:82 (7), May, 725-743 , (2012).

Boisse, P., Buet, K., Gasser, A. and Launay, J., "Meso/ Macro mechanical behaviour of textile reinforcement for thin composites." Composites Science and Technology, 61:395- 401, 2001.

Gerikalmaz, S., "Tekstil Kompozitlerinin Sonlu Elemanlar Uygulamalar," Yüksek Lisans Tezi, stanbul Teknik Üniversitesi, stanbul, (2010).

Gündo an, S., "Üç Boyutlu Dokuma Kompozit Yap,lar,n Mekanik Analizi" Yüksek Lisans Tezi, Uluda Üniversitesi, Bursa, (2010).

Hearle, J.W.S. and Shanahan, W.J., "An energy method for calculations in fabric mechanics," Journal of Textile Institute, 69(4): 81- 110, 1978.

Hu, J., "3-D Fibrous Assemblies" Number 74, England: Woodhead Publishing Limited, (2008).

Islam, A., "3D Woven Structures and an Overview of Manufacturing Technologies" 4. World Conference on 3D Fabrics and Their Applications, Aachen University, Germany, (2012).

Khokar, N., "Differentiating Architectural Features of 3D Woven Profiles for Structural Applications" Proceedings of the Fourth World Conference on 3D Fabrics and Their Applications, Aachen, Germany, September 2012.

Long, A., "Design and Manufacture of Textile Composites" ISBN-13: 978-1-85573-744-0, England: Woodhead Publishing Limited, (2005).

Mishra, R., Militky, J., Behera, B., Banthia, B., "Modelling and simulation of 3D orthogonal fabrics for composite applications" Journal of The Textile Institute, Vol:103(11), 1255-1261, (2012).

Mohamed, M., "Three Dimensional Textiles" The Scientific Research Society, Vol. 78, No. 6, (1990).

Mouritz, A., Bannister, M., Falzon, P. and Leong, K., "Review of applications for advanced three-dimensional fibre textile composites" composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Vol:30 (12), 1445- 1461, (1999).

Peirce, F., the geometry of cloth structure, journal textile institute, 28(3): 45-96, 1937.

Searles, K., Odegard, G. and Kumosa, M., micro and mesomechanics of 8 harness satin woven fabric composites: I ó evaluation of elastic behaviour, composites part A: applied science and manufacturing, 32: 1627- 55, November 2001.

Sherburn, M., "Geometric and Mechanical Modelling of Textiles" PhD Thesis, The University of Nottingham, Nottingham, (2007).

Stig, F., "3D Woven Reinforcement in Composites" PhD Thesis, KTH Engineerin Sciences, Stockholm, Sweden, (2012).

Wendland, B., Baur, P. and Gries, T., "3D Profile Weaving for Mass Production on Conventional Narrow Loom" Proceedings of the Fourth World Conference on 3D Fabrics and Their Applications, Aachen-Germany, September, (2012)

Yaz,c,o lu, G., "Pamuk ve Di er Bitkisel Lifler" No:274, Türkiye: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yay,nlar,, (1999).

Y., H. and Ding, X., "Conventional Approach on Manufacturing 3D Woven Preform used for Composites" Journal of Industrial Textiles, Vol:34 (1), 39-50, July (2004).

Tarfaoui, M. and Akesbi, S., A finite element model of mechanical properties of plain weave, colloids and surfaces A: physicochemical and engineering aspects, 187- 188: 439- 48, August 2001.

Zeng, X., Brown, L., Endruweit, A., Matveev, M. and Long, A., -Geometrical modelling of 3D woven reinforcements for polymer composites: Prediction of fabric permeability and composite mechanical properties, composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Vol:56 (1), 150- 160, (2014).

Zhang, Y., Bajaj, C., Sohn, B. -3D finite element meshing from imaging data, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol:194 (48-49), 5083- 5106, (2005).



9. ÖZGEÇM

Ad, Soyad,: Mehmet KORKMAZ

Do um Yeri ve Tarihi: ANKARA- 14.09.1988

Lisans Üniversite: Pamukkale Üniversitesi

Elektronik posta: mehmetkorkmaz_01@hotmail.com

leti im Adresi: 0(505) 242 07 36