

T.C
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TAKIM TEZGAHI GÖVDELERİNİN
İMALİNDE YENİ BİR MALZEME :
POLİMER BETON

DOKTORA TEZİ

SERDAR SAYLAN

BURSA, EYLÜL 1991

16426



T.C
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TAKIM TEZGAHI GÖVDELERİNİN
İMALİNDE YENİ BİR MALZEME :
POLİMER BETON

DOKTORA TEZİ

SERDAR SAYLAN

Sınav Günü : 13. 12. 1991
Jüri Üyeleri : *Fatih C. Babalik* Prof.Dr.Fatih C.BABALIK
: *Mustafa Gediktaş* Prof.Dr.Mustafa GEDİKTAŞ
: *Murat Dinçmen* Prof.Dr.Murat DİNÇMEN

BURSA, EYLÜL 1991

Ö N S Ö Z

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde değerli yardım ve teşviklerini esirgemenen saygıdeğer hocam **Prof.Dr. Fatih C.BABALIK**'a şükranlarımı arz ederim.

Ayrıca, fabrikalarında inceleme yapmama olanak sağlayan Kaledekor şirketinin yöneticilerine, Fabrika Teknik Müdürü Servet Keyder'e, poliester reçinesinin seçiminde bilgilerini aldığım Poliya şirketinin sahibi İsmet Çakar'a, çalışmalarım ve tez yazılımı safhalarında emeği geçen fakülte elemanlarına teşekkürü borç bilirim.

ÖZET

Bu çalışmada, takım tezgahı gövdelerinin imalatında, geleneksel yapı malzemesi olan dökme demir ve çelik kaynak konstrüksiyonları yerine polimer betonun kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Gövde imalatında kullanılacak malzemelerde mukavemet, rijitlik ve sönümlenme değerlerinin yüksek olması istendiğinden, polimer betondan da bu özellikler beklenir. Polimer betonun teknik özellikleri, kendini meydana getiren malzemelerin cins ve miktarı ile büyük oranda değişmektedir. Bu nedenle, öncelikle polimer betonun basma mukavemeti, elastisite modülü ve sönümlenme değerleri araştırılmış ve elde edilen sonuçlara göre polimer betonun harç bileşimi tesbit edilmiştir. Karşılaştırmalı deneyler yapabilmek amacıyla, atölyemizde mevcut bir dökme demir planya tezgah gövdesinin ağırlığı ve dış ölçüleriyle aynı boyutlara sahip, tesbit edilen bileşimdeki polimer betondan tezgah gövdesi imal edilmiştir.

Her iki gövdenin (dökme demir ve polimer beton), statik ve dinamik kuvvetlerin etkisi altındaki davranışları incelenmiş ve polimer betonun, bilhassa daha yüksek sönümü ile, dinamik kuvvetler altındaki deformasyonunun daha az olduğu görülmüştür. Bu özellikleriyle de polimer betonun, tezgah gövdesi imalatında kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.

SUMMARY

In this study, it has been investigated useability of polimer concrete instead of constructions of steel and cast iron material which is used to built bed of machine tools.

Because of all materials which is used to build bed of machine tool should have high enough strength, rigit and damping properties, so it is hoped that the polimer concrete must have the same properties too. The technical properties of polimer concrete more important change by quantities and types of materials which is formed it. So, the first it has investigated the compression elastisite modulus and damping of the polimer concrete and it is confirmed the compound of plester of polimer concrete according to results obtained. To make comparatively tests, it has been built machine bed from the polimer concrete bed which has the same dimensions with cast iron machine tool in our work shop.

It has been examine behaviors of each two beds (cast iron and polimer concrete) in influencing the forces of static and dynamics and it has been seen that especially the polimer concrete has high damping and less strain. Therefore I point out that the polimer concrete can be used in building beds of machine tools.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ

ÖZET

SUMMARY

BÖLÜM I

GİRİŞ

BÖLÜM 2

POLİMERİK MALZEMELER

2.1 Giriş

2.1.1 Tarihsel Gelişim 2

2.1.2 Tanımlar ve Polimerlerin Sınıflandırılması 3

2.1.3 Polimer Teknolojisinin Hammaddeleri 4

2.2 Polimerlerin Yapısı

2.2.1 Bağ kuvvetleri 5

2.2.2 Makro moleküllerin oluşumu

2.2.2.1 Polimerizasyon 6

2.2.2.2 Polikondenzasyon 7

2.2.2.3 Poliadisyon 7

2.2.3 Molekül Şeklinin Polimerin Özellikleri Üzerindeki Tesiri 8

2.2.4 Zincir Uzunluğunun Etkisi 8

2.3 Polimerlerin Temel Özellikleri

2.3.1 Mekanik Özellikler 9

2.3.1.1 Mekanik Özelliklerin Zamana Bağımlılığı 9

2.3.1.2 Gerilim - Deformasyon Eğrileri 10

2.3.1.3 Yorulma ve Sönüm 11

BÖLÜM 3

POLİMER BETON

3.1 Giriş 14

3.2 Polimer Betonun Sınıflandırılması 15

3.3 Polimer Betonun Yapısı	16
3.4 Polimer Beton Üretimi	19
3.5 Poliester Beton	
3.5.1 Doymamış Poliester Reçinesi	21
3.5.2 Poliester Beton Üretimi	23
3.6 Polimer Betonun Teknik Özellikleri	24
3.6.1 Reçine/Dolgu Oranının Etkisi	25
3.6.2 Reçine Tipinin Etkisi	28
3.6.3 Sıcaklığın Etkisi	30
3.6.4 Gerilmenin Etkisi	31
3.6.5 Yoğunluğun Etkisi	33

BÖLÜM 4

TİTREŞİM TEORİSİ VE SÖNÜM

4.1 Titreşim Teorisi	34
4.1.1 Sönümsüz Serbest Titreşimler	35
4.1.2 Sönümlü Serbest Titreşimler	36
4.1.3 Zorlanmış Titreşimler	37
4.2 Sönümleme	41
4.2.1 Mühendislik Özelliği Olarak Sönümlemenin Önemi	42
4.2.2 Malzeme Sönümü	43
4.2.3 Malzeme Sönümünü Ölçme Metodları	
4.2.3.1 Gerilim-Deformasyon Histeresiz Çevrimi	44
4.2.3.2 Titreşen Bir Numuneyi Kullanan Metodlar	44
4.2.3.3 Dönen Milde Yanal Sapma Metodu	46
4.2.3.4 Yüksek Frekanslı Çarpma Metodu	46
4.2.4 Temel Bağıntılar	47

BÖLÜM 5

TAKIM TEZGAHLARINDA TİTREŞİM, KONTROLU VE RİJİTLİK

5.1 Takım Tezgahlarının Tanımı ve Hassasiyet	49
5.2 Takım Tezgahlarında Titreşim	51
5.3 Titreşim Kontrolü	52
5.4 Tezgah Gövdeleri	53

BÖLÜM 6

POLİMER BETONUN TEZGAH GÖVDELERİNDE KULLANIMI

6.1 Polimer Beton	57
6.2 Polimer Betonun Tanım Değerleri	58
6.3 Konstrüksiyon Prensipleri	60
6.4 Tezgaah Gövdelerinin Polimer Betondan İmali İçin Isıl İşlem	64
6.5 Polimer Betonun Tezgaah Gövedelerinde Uygulamaları	64

BÖLÜM 7

KULLANILAN POLİMER BETONDA PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ

7.1 Reçine Seçimi	72
7.2 Dolgu Malzemesi Seçimi	
7.2.1 En Büyük Tane Boyutunun Tesbiti	72
7.2.2 Tane Büyüklüğü Dağılımının Tesbiti	73
7.3 Basma Mukavemeti	
7.3.1 Deney Numuneleri	
7.3.1.1 Numune Boyutları	73
7.3.1.2 Tane Boyutları	74
7.3.1.3 Numune Kalıbı	74
7.3.2 Deney Ekipmanları	75
7.3.3 Numunelerin Hazırlanması	76
7.3.4 Deneyin Yapılışı ve Sonuçları	76
7.4 Elastisite Modülü	
7.4.1 Deney Düzeneği	78
7.4.2 Deney Numuneleri	79
7.4.3 Deney Ekipmanları	80
7.4.4 Numunelerin Hazırlanması	81
7.4.5 Deneyin Yapılışı ve Sonuçlar	81
7.5 Sönümlleme Değeri	
7.5.1 Deney Düzeneği ve Numuneler	81
7.5.2 Deney Ekipmanları	83
7.5.3 Deneyin Yapılışı ve Sonuçlar	84

BÖLÜM 8

DENEYSEL ÇALIŞMA

8.1 Polimer Beton	96
8.2 Tezgah Gövdesinin Konstrüksiyonu	96
8.3 Tezgah Gövdesinin Dökümü	98
8.4 Deney Ekipmanları	98
8.5 Deney Düzeneği	100
8.6 Deneyin Yapılışı ve Bulgular	
8.6.1 Dinamik Rijitliğin Ölçümü	101
8.6.2 Gürültü Seviyesinin Ölçümü	102
8.6.3 Statik Rijitliğin Ölçümü	103
8.6.4 Deney Sonuçları	103

BÖLÜM 9

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	108
----------------------	-----

KAYNAKÇA

BİYOGRAFİ

BÖLÜM I

GİRİŞ

Çevre ve kalite bilincinin sürekli artan ivmelerle yaşamımıza girdiği bu dönemde, herhangi bir ürünün yüksek mukavemetli, estetik, tam ölçüsünde ve ucuz olması, imalatının ise çevreyi enaz kirletecek şekilde yapılması istenmektedir.

Takım tezgahları, imalat sanayiinde çok ağırlıklı bir yere sahiptir. Bu nedenle günümüzde kullanılan tezgahlardaki titreşim, gürültü gibi kötü etkilerin en aza indirilmesi ve tezgah gövde konstrüksiyonlarının her türlü gelişmeyi özümseyecek bir yapıda olması arzulanır. Takım tezgahlarının dinamik, statik davranışlarının artan otomasyon derecesine uyumu, hem konstrüksiyonun optimizasyonu, hem de tezgahın üretiminde kullanılan malzeme ve proseslerin geliştirilmesi ile sağlanabilir. Bu arada ekonomiklik koşulunu ve tezgahın modern kesici takımlara sağlayacağı uyuma da gözardı etmemek gerekir.

Günümüzde kullanılan dökme demir ve çelik kaynak konstrüksiyonlu tezgah gövdeleri ile bu beklentiler tam olarak karşılanamamaktadır. Bu amaçla gövde malzemesi olarak alternatif malzemeler üzerinde araştırmalar yapılmaktadır.

Bu çalışmada, günümüzde gittikçe gelişen takım tezgahlarından istenen performansın alınmasında önemli bir unsur olan tezgah gövdesinin inşasında, polimer betonun alternatif bir yapı malzemesi olup olamayacağı araştırılmıştır.

BÖLÜM 2

POLİMERİK MALZEMELER

2.1.Giriş

2.1.1 Tarihsel Gelişim

Polimerlerin endüstriyel uygulamasında ilk basamak doğal kauçuk, selüloz nişasta v.b gibi doğal polimerik maddelerin kullanılmasıdır. Doğal polimerik maddelerin kullanımı çok eski tarihlere kadar uzanır. Doğal polimerik maddelerin endüstriyel kullanımında ortaya çıkan problemlerin başında hammaddenin işlenmesindeki zorluklar ve ürünlerin mekaniksel ve fiziksel özelliklerin yetersiz olması sayılabilir. Bu ve diğer dezavantajları nedeniyle doğal polimerler, yerlerini tarihsel gelişim içinde modifiye edilmiş polimerlere, başka bir ifade ile yarı sentetik polimerlere bırakmışlardır /1/.

Polimerlerin bir grubu olan plastiklerin ilk ürünü 1868 de Amerika'da **John Wesley Hyatt** tarafından üretilen selüloid'dir. Araştırmacı pamuk selülozunu nitrik asit ile etkileştirerek, plastik teknolojisinin ilk ürünü olan bu yarı sentetik polimeri hazırlamıştır. Amerikalı bilim adamı **Leo Hendrick Baekeland** 1907 de tamamen sentetik ilk polimer olan fenol formaldehit reçinelerinin (**bakalit**) üretimini başarmıştır. **Hermann Staudinger**'in 1924 'de "**Makro molekül hipotezi**" ni ileri sürmesiyle, polimer teknolojisi önemli bir ufuk kazanmıştır. Doğal kauçuğun ve polistirenin, küçük birimlerin birarada bulunduğu uzun zincirli moleküllerden oluştuğunu ileri sürerek, polimer üretiminin deneme yanılma yaklaşımından kurtulmasına neden olan araştırmacı, bu çalışmalarıyla nobel ödülü almıştır. Makro molekül hipotezi sonraki yıllarda birçok polimerin üretimine ışık tutmuştur. 1927 de selüloz asetat ve polivinil klorür, 1928'de polimetilmetakrilat, 1929 da üre-formaldehit reçineleri üretilmiştir. 1930'da ilk defa üretilen polistiren ve sonraki yıllarda, özellikle II.Dünya savaşında önem kazanan stiren-butadien polimer teknolojisinde önemli ürünler olmuşlardır. 1931 de yine bir sentetik kauçuk olan neopren üretimi başlamıştır. **Wallace Carothers** tarafından 1935 de sentez edilen naylon 1938 de **DuPont** firması tarafından üretim programına alınmıştır. II.Dünya savaşının hemen öncesindeki yıllarda birçok önemli polimer sentez edilmiştir. 1936 da poliakrilonitril, polivinilasetat, 1937 de **R.J.Plunkett** tarafından poliüretan, 1938 de teflon ticari adıyla anılan politetrafloroetilen, 1939 da melaminformaldehit (Formika) reçi-

neleri,1941'de polietilen ve polietilentereftalat,1942'de doymamış poliester üretimleri gerçekleştirilmiştir /1/.

Savaş sonrası yıllarda yeni polimerlerin sentezi daha da hızlanarak devam etmiştir.1947'de epoksi reçineleri,1948'de akrilonitril-butadien-stiren polimeri sentez edilmiştir.Son yıllarda özellikle yüksek ısı ve mekanik dayanıklılığa sahip poliamid,poliarilsülfonlar,poliarilamidler,polifenilsülfid,polibütilteraftalat,polifenil v.b. gibi önemli plastikler geliştirilmiştir.1979'da ABD'de plastik üretimi 19 mil.ton/yıl değerini aşarak ilk defa çelik üretiminin üzerine çıkmış , bu tarih ABD'de plastik çağının başlangıcı kabul edilmiştir ve üretim 1985'de 22mil.ton/yıl olmuştur.

2.1.2 Tanımlar ve Polimerlerin Sınıflandırılması

Polimerler,en basit tanımıyla,çok sayıda aynı veya farklı atomik grupların kimyasal bağlarla,az veya çok düzenli bir biçimde bağlanarak oluşturduğu uzun zincirli,başka bir ifade ile yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerdir /1/.

Polimer kelimesi iki sözcükten oluşur.Poli çok demektir,mer ise birim molekül anlamındadır.Birim moleküllerin birbirine eklenmesi sonucu,polimer meydana gelir.Örneğin,mer,etilen ise bunun tekrarlanarak eklenmesi sonunda polietilen üretilmiş olur /2/.

Polimerler doğal veya sentetik olabilir.Doğal polimerlerin modifikasyonu ile elde edilen polimerlere yarısentetik polimerler denir ki, buna örnek; doğal selülozdan elde edilen rejenere selülozdur.

Polimerler doğal veya sentetik olmalarına bakılmaksızın kimyasal bileşimlerine göre sınıflandırılabilir ve dolayısıyla bu yaklaşım içinde adlandırılabilirler. Organik polimerler yapılarında, başta karbon atomu olmak üzere ,hidrojen,oksijen azot ve halojen atomlarını içerirler.Organik polimerler kadar yaygın olarak kullanılmayan inorganik polimerler de,ana zincirde karbon atomu yerine,periyodik cetveldeki IV - VI grup elementleri yer alır /1/.

Eğer polimer zinciri üzerinde dizili atomların hepsi aynı türden ise, bu polimerler homozincir,farklı atomlar ise,heterozincir polimerler olarak adlandırılırlar.

Polimerik malzemeler yapılarına ve oluş mekanizmalarına göre üç grup altında incelenirler /3/.

- a)- Termoplastikler
- b)- Termosetler
- c)- Elastomerler

Termoplastikler ısı ve basınç altında yumuşar, akar ve böylece çeşitli formlarda şekillendirilebilirler. Ayrıca uygun çözücülerde çözünebilirler. Soğumaya terk edildiklerinde tekrar ilk sertliklerine dönebilirler. Bu nedenle defalarca aynı şekilde üretimde kullanılabilirler. Polivinil klorür, polistiren, polimetilmetakrilat, polikarbonat, polietilen, polipropilen, poliamid önemli termoplastik malzemelerdir.

Termosetler bir kere ısı ve basınç altında şekillendirildikten sonra tekrar yeniden şekillendirilemezler. Daha sert ve dayanıklı polimerlerdir. Yüksek sıcaklıkta zarar görürler, ancak yumuşamazlar. Birçoğu 150-230°C arasındaki sıcaklığa maruz bırakılabilirler. Ancak sıcaklık sonucu oluşan hasar varsa, kalıcıdır. Fenol reçinesi, üre reçinesi, melamin, poliester reçinesi (UP), epoksi reçinesi (EP) başlıca termoset polimerlerdir /4/.

Elastomerler, yapı oluştuktan sonra artık sıvılaşmazlar, ergime özellikleri yoktur. Oda sıcaklığında elastiktirler. Sıvı ve gazları emerek içlerine alabilirler. Polibütadien, poliüretan kauçuk, poliolefin kauçuk, silikon kauçuk önemli bazı elastomerlerdir /3/.

Polimerler fiziksel durumlarına göre de sınıflandırılabilirler. Amorf, kristalin veya yarı kristalin yapıdadır. Amorf polimerlerde, polimer zincirleri gelişigüzel şekilde birbirlerinin içine girmiş yün yumakları şeklindedir. Kristalin polimerik yapılarda polimer zincirlerinin tamamı belli bir düzene girmiş durumdadır. Yarı kristalin polimerlerde ise polimerik yapının bazı bölümleri kristalin, diğer bölümler amorf yapıdadır /1/.

2.1.3 Polimer Teknolojisinin Hammaddeleri

Günümüzde polimerlerin üretilmesinde kullanılan çeşitli girdiler başlıca iki tür kaynaktan elde edilmektedir. Bunlar ; 1. Yenilenebilir, 2. Tüklenen kaynaklardır.

Yenilenebilir kaynaklar arasında,doğal kauçuğun ve selüloz,agoroz,dekstran aljinik asit v.b gibi polisakkaritlerin elde edildiği odun,çeşitli bitkiler,algler v.b sayılabilir.Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen endüstriyel boyutta en önemli girdi,odundan elde edilen selülozdur.

Endüstriyel polimerler içinde en önemli yeri şüphesiz poliolefinler alır.Bu- gün dünyada hacim olarak en fazla tüketilen polimerlerin başında PE,PP,PVC,PS, Naylon ve Sentetik kauçuklar gelir.Bu ve benzeri birçok önemli polimerin elde edilmesinde kullanılan üç olefin etilen,propilen ve butadien'dir.Olefinler için doğal gaz,özellikle ABD'de önemli bir kaynak olmuştur.Buna karşılık Avrupa ve Japonya'da olefin üretimi için hemen hemen tek kaynak petrol rafineri ürünleridir.

Doğal gazdaki temel bileşen metan,kimyasal maddeler arasında hacim olarak en çok üretilenler arasında yeralan üre,metanol,formaldehit ve asetik asit için önemli bir girdidir.Bu maddeler polimer teknolojisinde de yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kömür,tükenen kaynaklar arasında polimer teknolojisine önemli bir kaynak olma özelliğine sahiptir.Kömürden elde edilen su gazı birçok kimyasalın,dolayısıyla polimerlerin üretiminde kullanılabilir /1/.

2.2 Polimerlerin Yapısı

2.2.1 Bağ kuvvetleri

Bir polimer molekülü karbon,oksijen,azot,hidrojen,kükürt,fosfor,silisyum v.b gibi atomların primer(kovalent) bağlarla bağlandığı uzun bir zincirdir.Ana zincir üzerinde yalnızca iki veya daha fazla değerlikli atomlar bulunabilir.Bu nedenle hidrojen ve halojenürler ana zincir üzerinde yeralmaz.İki veya daha fazla değerlikli her atomda ana zincir üzerinde yeralmaz.Kararlı bir polimer zincirin oluşabilmesi için ana zincir üzerindeki atomlararası bağın yeterli enerjide olması gerekir.Örneğin, düşük enerjili O-O veya N-N bağları ile kararlı polimer molekülleri oluşamaz.Primer bağlar yüksek enerjili (35-150 Kcal/mol) kimyasal bağlardır.

Kimyasal olarak reaksiyona girmeyen polimer molekülleri arasında veya bir molekülün çeşitli bölümleri arasında oluşun bağlara sekonder bağlar adı veri-

lir.Sekonder bağların enerjileri 1-20 Kcal/mol olup zayıf bağlardır.Sekonder bağların kuvveti, polimerin mekanik ve termik özelliklerini tesbit eder /5/.

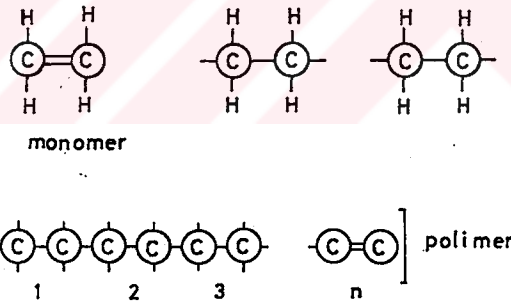
2.2.2 Makromoleküllerin Oluşumu

Sentetik makro moleküller genel olarak üç ana yöntemle üretilir:

- a. Polimerizasyon
- b. Polikondenzasyon
- c. Poliadişyon

2.2.2.1 Polimerizasyon

Temel moleküllerin herhangi bir yan ürün oluşturmaksızın zincir şeklinde, makro molekülleri meydana getirmelerine polimerizasyon denir.İlk kez 1912'de Klatt tarafından Almanya'da polivinilklorür üzerinde açıklanmıştır.Hemen hemen bütün termoplastikler bu metodla üretilir.Temel prensip olarak monomerin mole-



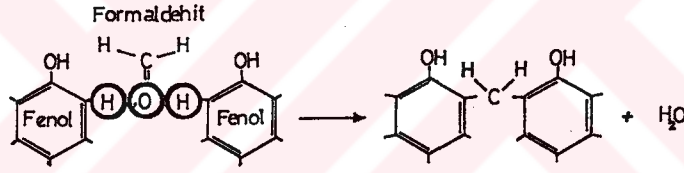
Şekil 2.1 Etilenin Polimerizasyonu /5/

külünde katlı bağlar (C=C gibi) bulunmalıdır.İkili bağlardaki iki elektron çifti aynı bağ enerjisine sahip değildir; biri daha zayıftır.Belirli reaksiyon şartlarında(basınç,sıcaklık,katalizör kullanılması) daha zayıf olan bağ açılır ve serbest bağ kollarına sahip parçacıklar ortaya çıkar.Bu aktifleştirilmiş moleküller lineer veya dallanmış makromoleküller halinde birleşirler.İlginç olan taraf bu birleşme ısı yayarak oluşur ve yayılan ısı kararsız bağı koparmak için gerekenden çok fazladır. Reaksiyon bir kere başlayınca,yani ilk bağlar kırılınca,birleşme kendiliğinden ve

çok hızlı biçimde gelişir.Örnek olarak etilenden polietilenin meydana gelişi bu şekilde olur (Şekil 2.1).Aynı şekilde polipropilen,polistirol,polivinilklorür,polivinilflorür,politetrafloretillen,polimetilmetakrilat,polioksimetilen'de polimerizasyon reaksiyonu neticesinde meydana gelirler.

2.2.2.2 Polikondenzasyon

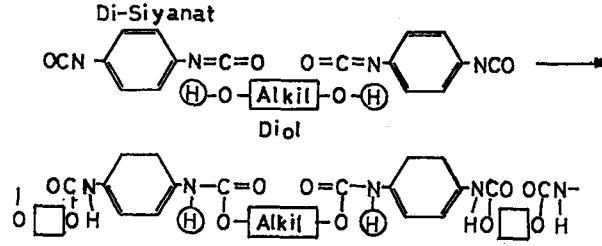
İki aynı veya farklı cinsten monomerin,bir küçük molekülü yan ürün ortaya çıkararak makromolekül oluşturmalarıdır.Yan ürünler su,amonyak veya alkol olabilir /3/.Polikondenzasyon reaksiyonu ilk olarak 1907'de **Baekland** tarafından fenol-formaldehit üzerinde teknik olarak çözülmüştür (Şekil 2.2).Melaminformaldehit,üreformaldehit,silikon,poliamid ve polikarbonat tanınmış polikondensatlardır.



Şekil 2.2 Fenolformaldehitin polikondenzasyonu /5/

2.2.2.3 Poliadisyon

İki ayrı maddenin moleküllerinin yan ürün oluşturmaksızın doğrudan doğru ya makromolekül oluşturmasıdır.Poliadisyonun polikondenzasyondan farklı yan ürün oluşturmaması ve polimerizasyona göre farkı ise büyümenin sadece C'nun katlı bağları dolayısıyla değil O,S,N gibi elementler üzerinde bağlantıların olabilmesidir.1935 'de **Baye**r tarafından poliüretan üzerinde keşfedilmiştir.Örnek olarak di-siyanatların dialkollerle poliadisyonu şekil 2.3 de gösterilmiştir.Poliüretan ve epoksi reçineleri önemli poliadisyon reaksiyonu ürünleridir.



Şekil 2.3 Disiyanatların dialkollerle poliadisyonu /5/

2.2.3 Molekül Şeklinin Polimerin Özellikleri Üzerindeki Tesiri

Termoplastiklerde, tek moleküller sadece iki adet reaksiyon kabiliyeti olan noktaya sahiptir. Enerji ilavesi zincirin ısıl hareketini artırır, sekonder bağlar zayıflar. Daha yüksek sıcaklıklarda primer bağlar parçalanır ve küçük zincirler oluşur, polimer sıvılaşır. Termoset malzemelerde, tek moleküller reaksiyon kabiliyeti olan üç veya daha çok noktaya sahiptir. Isı ilavesiyle ağ şeklindeki ve içiçe örülmüş makromoleküller birbiri arasında kaymaz, polimer ergimez. Ağ teşekkülünün derecesi polimerin sertliğine ve sünekliliğine etki eder. Kuvvetli ağ teşekkülü halinde polimer sert ve gevrek olur. Elastomerlerde, zincir molekülleri, primer bağlarla geniş aralıklı ağ'lar teşekkül eder. Böylelikle zincirlerin kayması mümkün olmaz, ancak zincirlerin ağ düğüm noktaları arasında uzaması imkânı doğar. Polimer yumuşak ve elastiktir /5/.

2.2.4 Zincir Uzunluğunun Etkisi

Zincir uzunluğunun artması ile beraber makromoleküller arasındaki temas yüzeyi de artar ve sekonder bağlar kuvvetlenir. Böylece polimerin çekme mukavemeti de artar. Sekonder bağlar primer bağlardan daha sağlam olursa, zincir halkaları zayıf noktalar arasında yer alır ve çekme mukavemeti molekül uzunluğu artmasına rağmen daha fazla yükselemez. Ayrıca zincir uzunluğunun artmasıyla ergimiş plastiğin kalıp içersindeki akma kabiliyeti kötüleşir. Böylece mukavemet ve işlenme kabiliyetine uygun olarak ortalama bir molekül uzunluğu tesbit edilir/5/.

2.3 Polimerlerin Temel Özellikleri

Polimerlerin metal malzemelere göre önem kazanmaları, bunların birçok özelliklerinin, metallerinkine göre çok farklılık göstermesiyle ilgilidir. Her zaman bir üstünlük anlamına gelmeyecek olan bu özellik farkları, polimerlerin çeşitli kullanma alanlarındaki yerinin metallerle doldurulamayacağını açıkça göstermektedir. Polimerlerin özgül ağırlığının $1-2 \text{ gr/cm}^3$ oluşu, özgül ağırlığı $1,6-13 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişen metallerle göre hafif konstrüksiyon açısından önemli bir üstünlük arz eder. Polimerik malzemelerin metallerle göre önemli farklılık gösterdiği özellikler;

a)- Mekanik özellikler

Çekme, basma mukavemeti, çentik darbe direnci, sertlik, periyodik gerilme etkileri (yorulma, sönüm) ve şekillenebilme kabiliyeti.

b)- Fiziksel ve kimyasal özellikler

Özgül ağırlık, kimyasal direnç, sürtünme ve aşınma, özgül ısı, ısıl iletkenlik, genleşme katsayısı, yanıcılık, sıcaklığa dayanıklılık, ışık geçirgenliği, su emmesi.

c)- Elektriksel özellikler

Dielektrik sabiti, yalıtım direnci, ark direnci /3/.

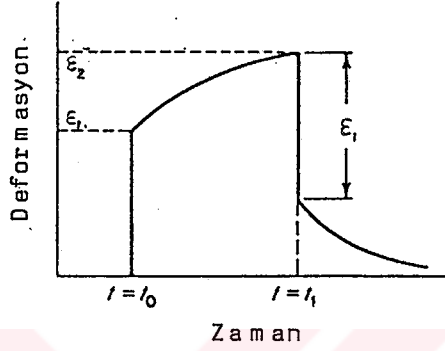
2.3.1 Mekanik Özellikler

Polimerik malzemeler yapılarına, işlenme tekniklerine ve kullandıkları çevre koşullarına göre değişen mekanik özellikler gösterirler. Polimerik bir malzemeden beklenenlerin başında, kullanılacağı yere göre belli sertlik ve sağlamlıkta olması ve mekanik özelliklerini istenilen süre koruyabilmesi gelir. Genel olarak polimerik malzemelerin mekanik özellikleri denince, dış kuvvetlerin etkisiyle ortaya çıkan uzama, akma, kopma v.b gibi deformasyonlar akla gelir. Polimerik malzemelerin en önemli özelliği bu deformasyonların sıcaklık ve zamana bağımlılığıdır. Kuvvet-deformasyon-sıcaklık-zaman arasındaki ilişkiler son derece karmaşıktır.

2.3.1.1 Mekanik Özelliklerin Zamana Bağımlılığı

Polimerlerde elastik şekil değiştirme bölgesinde $\sigma = E \cdot \epsilon$ Hook kanunu geçerlidir. Metallerde birim deformasyon, ϵ , gerilmenin tek fonksiyonu olarak görülür. Oysa polimerlerde zaman bağımlılığı söz konusudur. Deformasyonun zamanla değişmesi **anelastisite** olarak adlandırılır. Şekil 2.4 de görüldüğü gibi anelastik dav-

ranış gösteren bir malzeme ϵ_1 'e kadar uzatılsın.Uygulanan gerilme sabit iken birim uzamanın geçen zamanla ϵ_2 değerine ulaştığı görülür. İşte $\epsilon_2 - \epsilon_1$,anelastik uzama miktarıdır.Eğer yük $t = t_1$ anında aniden kaldırılırsa malzeme derhal ϵ_1 büyüklüğünde elastik zorlamaya (geriye doğru) maruz kalır ve daha sonra uzama sıfıra doğru düşer.Bu özelliğe de **etki sonrası elastiklik** denir /6/.

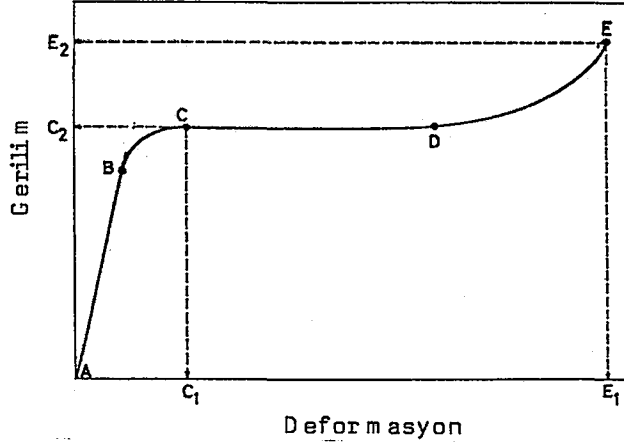


Şekil 2.4 Anelastik ve elastik davranış /6/

2.3.1.2 Gerilim-Deformasyon Eğrileri

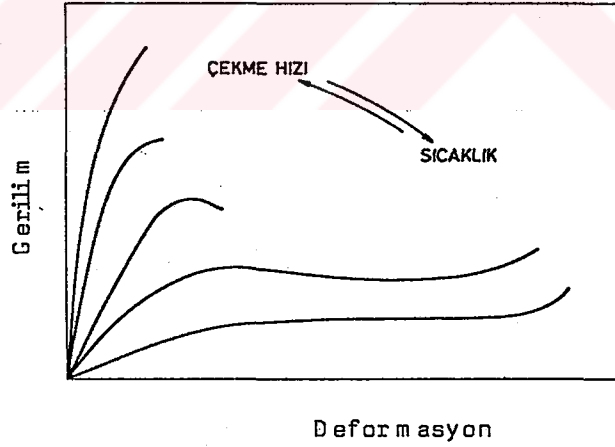
Deformasyonun veya % de uzamaya karşı gerilimin grafiğe geçirilmesiyle elde edilen eğriler,polimerik malzemelerin mekanik özellikleriyle ilgili birçok bilgi vermektedir.Şekil 2.5 de sunulan eğrinin AB bölgesi,doğrusaldır ve polimerik malzemede elastik deformasyonu temsil eder.AB eğrisinin eğimi polimerik malzemenin **young modülü**'nü,doğrunun altında kalan alan da,polimerik malzemenin kalıcı deformasyona uğramadan absorblayabileceği enerji miktarını verir.BC bölgesinde viskoelastik deformasyon görülmektedir.Malzemede az da olsa kalıcı deformasyon oluşmuştur.C₂ noktasından okunan değer polimerik malzemenin önemli bir kalıcı deformasyon olmadan taşıyacağı yük miktarını gösterir.CD bölgesinde,uygulanan gerilim değişmediği halde,malzeme önemli oranda uzamaktadır.Plastik akma olarak tanımlanan bu durumda polimerik yapıda grift halde bulunan polimer zincirleri birbiri üzerinden kaymaktadır.

Gerilim-deformasyon eğrisinin DE bölgesinde gerilimde önemli bir artış gözlenir.Bu artış polimer zincirlerinin yapı içinde aşırı yönlendirilmesi sonucu sertliğin artmasını ifade eder.E noktasında kopma gözlenir.ABCDE eğrisinin altında kalan alan malzemenin sağlamlığının bir ölçüsüdür.Bu değer ne kadar küçükse malzeme o kadar kırılgandır /1/.



Şekil 2.5 Polimerlerin tipik gerilme-deformasyon eğrisi /1/

Çekme hızı ve sıcaklık, gerilme-deformasyon eğrilerini önemli oranda değiştirir. Polivinilklorür örnekleriyle, farklı çekme hızları ve sıcaklıklarda yapılan testlerin sonucunu gösteren şekil 2.6, bu değişimi çarpıcı bir şekilde ifade etmektedir. Dikkat edileceği gibi hızlı çekmede kırılmalı ve sert görünen PVC, yavaş çekmede daha yumuşak fakat sünek malzeme cevabı vermektedir. Aynı şekilde düşük sıcaklıklarda yapılan çekmede sert görünümdeki malzeme, yüksek sıcaklıklarda yumuşak ve kırılmaz davranmaktadır /1/.



Şekil 2.6 Gerilim-deformasyon eğrilerinin çekme hızı ve sıcaklıkla değişimi /1/

2.3.1.3 Yorulma ve Sönüm

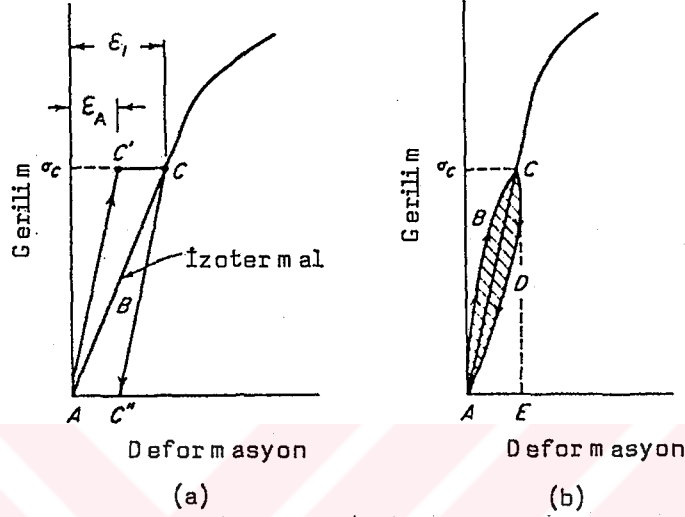
Polimerik malzemeler tekrarlanan işlemlerde değişen miktar ve sürelerde yük altında kullanılırlar. Çeşitli makinalarda, dişli, şaft v.b gibi hareketli parçalar bu tür etki altındadır. Ayrıca, parça hareketsiz olsa da makinadaki titreşim, malze-

me üzerinde benzeri etkiler yapar. Gerilim veya deformasyonun tekrarlanan salınımlar halinde değiştiği bu tür etkiler, gerilim veya deformasyon değerleri kopma değerlerinden çok daha küçük olsa da, etkinin birikimi sonucu, malzemenin kopmasına neden olur. Yorulma olarak adlandırılan bu mekanik özellik, uygulama yönünden polimerik malzemenin hangi koşullarda ne kadar süre kullanılabileceğini göstermesi bakımından önemlidir. Polimerlerde yorulma mekanizmaları son derece karmaşıktır ve pratikte matematik analizlerden çok amprik deney sonuçları kullanılır.

Tüm materyallerde olduğu gibi polimerlerden üretilen malzemeler de yapısal hatalar içerirler. Bu malzemeler, salınımlar halinde değişen gerilim altında kalınca, mikroskobik hatalardan başlayan deformasyon zamanla büyüüp yayılır ve malzeme sonunda yorulur, kopar. Bu tür yorulma çatlak yürümesi olarak adlandırılır. Metallerde yorulma genellikle bu türdür. Polimerik malzemelerde ısıl yorulma da önemli bir yorulma şeklidir. Bu tür malzemelerde uygulanan gerilim sonucu, mekanik iş ısıya dönüşür. Histeresiz olarak bilinen bu olay sonucu ortaya çıkan ısı, polimerlerin ısı iletim katsayıları düşük olduğu için çevreye yeterli hızda iletilemez ve malzemede birikir. Kontrol edilemeyen bu sıcaklık artışı, ısıl yumuşamaya ve dolayısıyla ısıl yorulmaya neden olur /1/.

Deformasyona uğrayan bir polimerde esneklik ve viskozite mekanizmaları birlikte çalışır. Gerilme kaldırıldığında yüklenen enerjinin bir kısmı ısıya dönüşmüş olduğundan malzeme eski haline gelemez. Böylece oluşan histeresiz eğrisinin alanı polimerin sönüm kapasitesini belirler. Malzeme içersinde enerji harcamaya yönelik pek çok mekanizmadan bir tanesi de **termoelastik etki**'dir. Eğer bir polimerik malzeme numunesi düşük hızlarda elastik olarak çekiye zorlanırsa, numunenin gerilme-deformasyon eğrisi şekil 2.7 deki A-B-C yolunu izler. Bu durumdaki izotermal dönüşümde, numune çevresini saran ısıl denge bozulmaz. Yük kalktığı zaman eğri C-B-A yolunu izleyerek geri döner. Fakat numune yüksek bir hızda aniden σ_c gerilme değerine kadar yüklenirse, numune ile çevresi arasında ısıl denge için yeterli zaman bulunamayacağı için, numune sıcaklığı küçük bir miktar düşecek ve A-C' yolu izlenecektir. Numunedeki uzama ϵ_1 yerine ϵ_A kadar olacaktır. Numune, geçen zamanla sıcaklığın etkisiyle genişleyerek C-C' boyunca uzayacaktır. Eğer tam bu anda yük aniden kaldırılırsa, C-C'' boyunca adyabatik olarak şekil değiştirecek numunenin, sıcaklığı küçük bir miktar artacaktır. Zamanla numune çevreye ısı aktarır ve deformasyon C''-A yolu boyunca oluşan ısıl

büzülmeyle azalır. Sonuçta kapalı bir A-C'-C'' histeresiz çevrimi meydana gelecektir. Gerçek malzemelerde yük periyodik olarak yüklenip kaldırılarak tekrarlanırsa, elastik histeresiz çevrimi şekil 2.7.b deki gibi olacaktır /6/.



Şekil 2.7 a)- İdealleştirilmiş adiabatik ve izotermal gerilme - deformasyon eğrisi b)- Elastik histeresiz çevrimi /6/

Polimerlerdeki enerji yutma özelliğinden titreşimlerin sönümlenmesinde yararlanır. Bir yapının bir kısmında meydana gelen titreşim enerjisi polimer tarafından sönümlenerek, ısıya çevrilir. Oluşan ısının dışarıya atılmasını sağlamak şarttır, aksi halde sıcaklık yükselerek polimerin bozulmasına sebep olabilir. Bu durum belirli bir sönüm fonksiyonu için polimer seçimini etkiler. Sönüm kapasitesi yüksek olan bir termoplastik, düşük sönüm kapasiteli, fakat yüksek ısıl dirençli bir termoset kadar iyi sonuç vermiyebilir /7/.

BÖLÜM 3

POLİMER BETON

3.1 Giriş

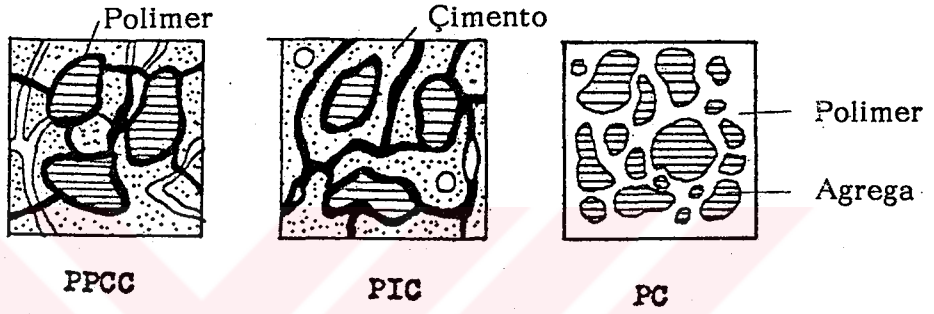
Çimento,diğer yapı malzemelerine göre ucuz oluşu, hammaddesinin kolay temini ve istenen forma dökülebilirliği nedenleriyle Romalılardan buyana kullanılagelmiş en yaygın yapı malzemesidir. Önceleri yanardağ küllerinden elde edilen çimentonun dayanımı 50 daN/cm^2 iken bundan yaklaşık yüzelli yıl kadar önce kal-ker-kil karışımı yüksek sıcaklıklarda pişirilerek üretilen çimentodan yapılan beton- da basınç dayanımı 300 daN/cm^2 ye kadar çıkarılabılmıştır. Bu gelişmesine ve belirtilen avantajlarına rağmen çimento mükemmel bir yapı malzemesi değildir. M.Ö. 2000'li yıllardan günümüze kadar birlikte yaşadığımız çimento betonunun yetersizlikleri ve arzulanmayan karakteristikleri mevcuttur. Yüksek su geçirgenli-ği, düşük çekme mukavemeti, aşırı ağırlığı, yetersiz eğilme özelliği, düşük çarp- ma direnci,düşük elastikiyet modülü, yetersiz izolasyon özellikleri, kimyasal aşın- dırıcılara karşı zayıf direnci ve komplike şekil verilebilme zorluğu arzulanmayan mühendislik karakteristikleridir ve bu yetersizlikler,çeşitli ülkelerde araştırmacı- lar tarafından bugün dahi giderilmeye çalışılmaktadır. Geleneksel betonun mühen- dislik karakteristiklerini değiştirmek için polimerlerin kullanımına ilişkin ilk ciddi araştırmalar 1960 'lı yılların başında başladı.Genel olarak dayanıklılığı yüksek ye- ni bir yapı malzemesi geliştirildi. Bu yeni yapı malzemesi,geleneksel betonlarda rastlanan problemlerin pekçoğunun çözümü olarak görüldü /8/.

Normal beton, çimento-su ve kum-çakıl karışımıdır. Beton teknolojisinde bu karışım, çimento hamuru ve kum-çakıl ikilisi şeklinde ele alınır. Geleneksel beton, çimento hamurunun, taneli yapıya karıştırılmasıyla oluşturulur. Bu yeni malzeme ise polimerlerin taneli yapıya karıştırılmasıyla oluştuğu için beton sınıfı malzeme olarak tanımlanmaktadır. Bu kavramla beton, çimento betonu ve poli- mer beton olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Polimer betonun, çimentolu be- tona göre en büyük dezavantajı ekonomik problemdir. Ancak maliyet ile mukave- met ve ağırlık ile mukavemet arasındaki oran, kimyasal direnci ve zaman tasar- rufu düşünülürse, artan maliyet görünümü kullanımına daha az engel olur ve po- limer beton kullanımı özellik gerektiren uygulamalarda öncelik kazanır.

3.2 Polimer Betonun Sınıflandırılması

Polimerlerin beton teknolojisinde kullanımını üç ana grupta toplayabiliriz:

1. PC (Polymer Concrete) adı verilen sentetik reçine betonları,
2. PCC veya PPCC (Polymer Cement Concrete veya Polymer Portland Cement Concrete) olarak adlandırılan polimer çimento betonları,
3. PIC (Polymer Impregnated Concrete) ile simgelenen polimer emdirilmiş betonlar.



Şekil 3.1 Polimer beton tipleri /2/

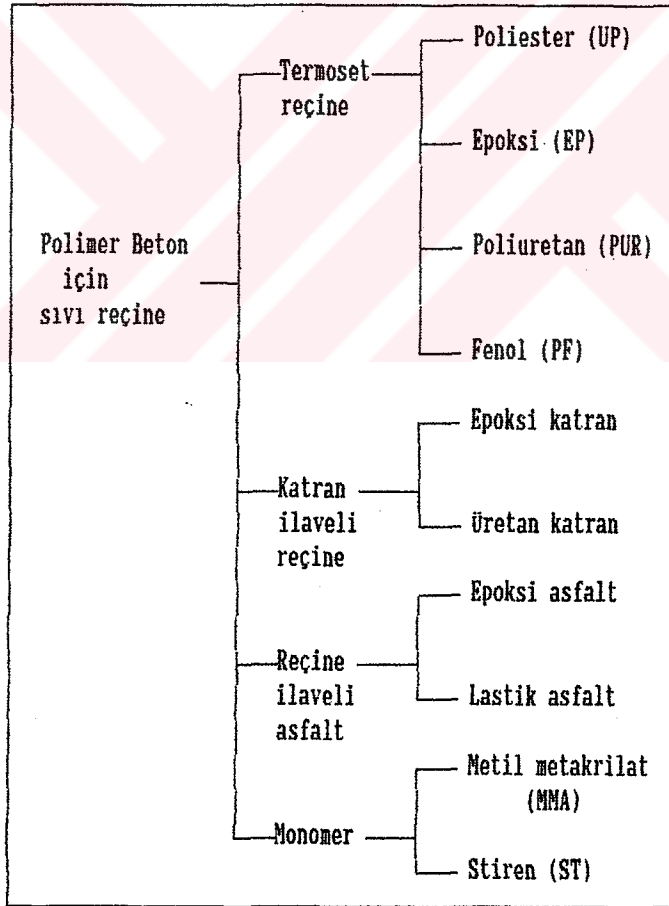
2. ve 3. grup betonlara polimerlerle geliştirilmiş betonlar adı da verilmektedir. Bu üç grup betonun yapı formu şekil 3.1 de görülmektedir. Taralı alanlar agregaları, koyu siyah çizgili kanallar polimerle doldurulmuş kılcal boşlukları, noktalı alan çimento fazını, beyaz bırakılan sürekli alan polimer fazını göstermektedir. PCC 'de agregaların çevresinde polimer filmi oluşmuştur, kılcal boşlukların bir bölümü de doldurulabilmiştir. PIC 'de tüm kılcal boşluklar polimerle kaplanmıştır. PC 'de ise agregaları çeviren matris tümüyle polimerdir /2/.

Polimer betonda, çimento yerine doğrudan polimer kullanılmakta, kum-çakıl gibi dolgu maddeleri, önce monomerle karıştırılmakta, sonra monomer polimerleştirilmektedir. Bu türde dolgu maddelerinin miktarı % 90 'a kadar çıkabilmekte ve malzemenin gözenek hacmi sifıra indirgenebilmektedir. İkinci tür polimer betonda önceden polimerleştirilmiş madde, çimento harcına sertleşmeden önce karıştırma sırasında katılmaktadır. Kimi zaman daha düzgün bir iç yapının sağlanması için harca, polimer yerine monomer konulmakta, harç bir miktar sertleştikten sonra da monomer polimerleştirilmektedir. Bu tür betonda, %30'luk bir polimer yüklenmesi dayanıklılıkta ancak % 50 'lik bir artış gösterebilmektedir. Fazla ümit verici bir yapı malzemesi olarak düşünmemek gerekir. Yalnız polimer-

li artıkların çevreye atılması yerine bu şekilde değerlendirilmesi düşünülebilir /9/. Polimer emdirilmiş beton, sertleşmesi tamamlanmış çimento betonuna monomer emdirip polimerleştirerek yapılmaktadır. Bu tür polimer betonda hem çok daha az monomer kullanılmakta, hem de betonun dayanıklılığı çok fazla arttırılmaktadır.

3.3 Polimer Betonun Yapısı

Polimer beton sıvı reçine veya monomer gibi polimerize edilebilir malzemelerin, kum-çakıl ve dolgu maddelerinin karışımı ile hazırlanır. Böylece sentetik maddeler ve beton teknolojisi birbirini kesmektedir. Daha 1962'de Franz ve Bossler birleştirme maddesi olarak sentetik maddelerin kullanımını geleneksel beton normları ile incelemişlerdir. Günümüzde de hala beton ölçme normları polimer betona uygulanmaktadır /10/.



Şekil 3.2 Polimer beton için reçineler /11/

Polimer betonun özellikleri büyük ölçüde bağlayıcıların miktarına ve özelliklerine bağlıdır. Bağlayıcı olarak kullanılan polimer miktarı, ağırlık olarak

polimer betonun % 8-25 'dir. Polimer beton üretiminde kullanılan bağlayıcılar şekil 3.2 de listelenmiştir //I/.

Polimere katılan kum, çakıl ve doldurucu maddeleri bir başlık altında anorganik dolgu malzemesi olarak genellikle kristalize kalsit, dolomit, mermer tozu aliminyum oksit, perlit ve kuvarz kullanılır. Kuvarz, bu dolguların içinde en sert ve de en yüksek mekanik mukavemet verenidir. Ayrıca polimer betonda yüksek dayanım sağlamak için tane büyüklüğü farklı partiküllerin belirli oranlarda mevcudiyeti gereklidir. Tane büyüklüğü ve miktarı, nihai üründen beklenen özelliklere göre belirlenir. ASB 'nin dekoratif ve teknik ürünler için verdiği karışım yüzde-leri çizelge 3.1 de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Dolgu malzemelerinde tane büyüklüğü dağılımı /I2/

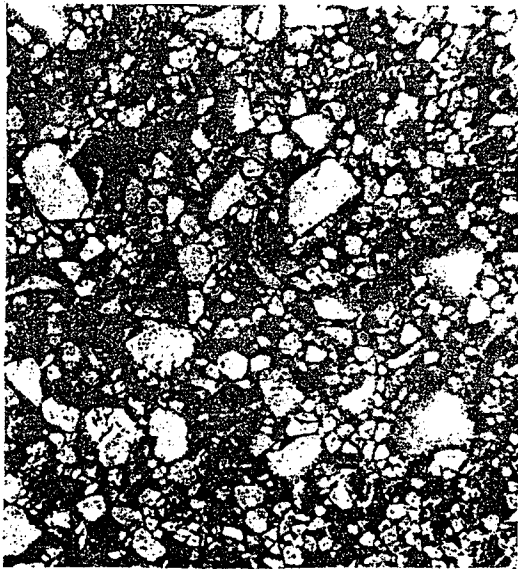
Tane büyüklüğü	Dekoratif ürün [%]	Teknik ürün [%]
< 0.1 mm	10 - 35	10 - 17
0.1 - 1 mm	20 - 50	35 - 55
1 - 2 mm	0 - 30	
1 - 3 mm		25 - 30
3 - 7 mm		0 - 30

Polimer betonun istenen mukavemette sertleştirilebilmesi için polimere uygun katalizör ve hızlandırıcı ilave etmek gerekir. Polimere katılacak hızlandırıcı, katalizör, dolgu miktarı ve tane büyüklüğü dağılımı, çalışma ortamının sıcaklığı, izâfi rutubeti belli denge limitleri içinde olmalıdır. Bu altı değişken polimer betonun mukavemetine etki eden başlıca faktörlerdir. Çizelge 3.2 'de en çok kullanılan reçine tipleri için **Ohama**'nın önerdiği karışım oranları verilmiştir //I/.

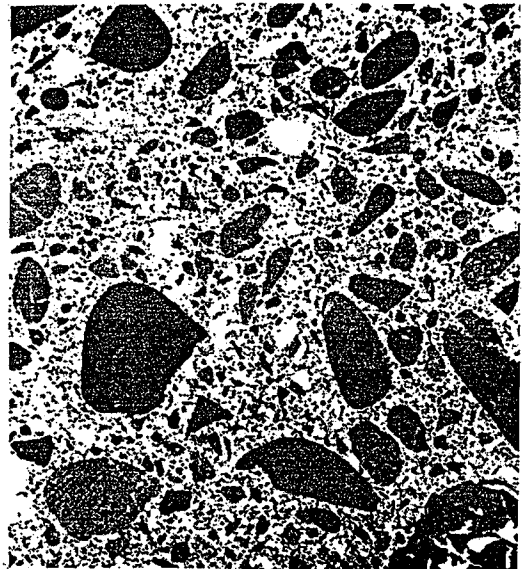
Polimer betonun çimento betonuna göre daha iyi özellikler, bilhassa yüksek mukavemet değerleri göstermesinin nedenini, reçinelerin daha iyi bağlama yapmalarının yanında agregaların yapı içindeki yerleşiminde bulmak mümkündür. Şekil 3.3 ve şekil 3.4 de görülen yapılardan polimer betonda, agregalar daha sıkı bir düzende yerleştiklerinden yüksek dayanım değerleri vermektedir.

Çizelge 3.2 Polimer betonda reçineye bağlı karışım oranları /11/

MALZENE		Polimer beton tipi ve ağırlık olarak karışım oranları			
		Poliester Beton	Epoksi Beton	Poliüretan Beton	PMMA Beton
Bağlayıcı	Sıvı reçine	Doymamış Poliester 11.25	Epoksi 10	Poliüretan 20	MMA 9.0 PMMA 0.5 TMPTMA 0.5
Doldurucu	Kalsiyum Karbonat	11.25	10		10
Kum, Çakıl Karışımı	İnce kum	<1.2 38.8	20	20	40.05
	Kaba kum	1.2-5 9.6	15	15	9.91
	Çakıl	5-20 29.1	45	45	30.04
Muhtelif malzemeler	Katalizör	NEKP			BP 0.4 DMA 0.1
	Hızlandırıcı	Kobalt Oktolat			



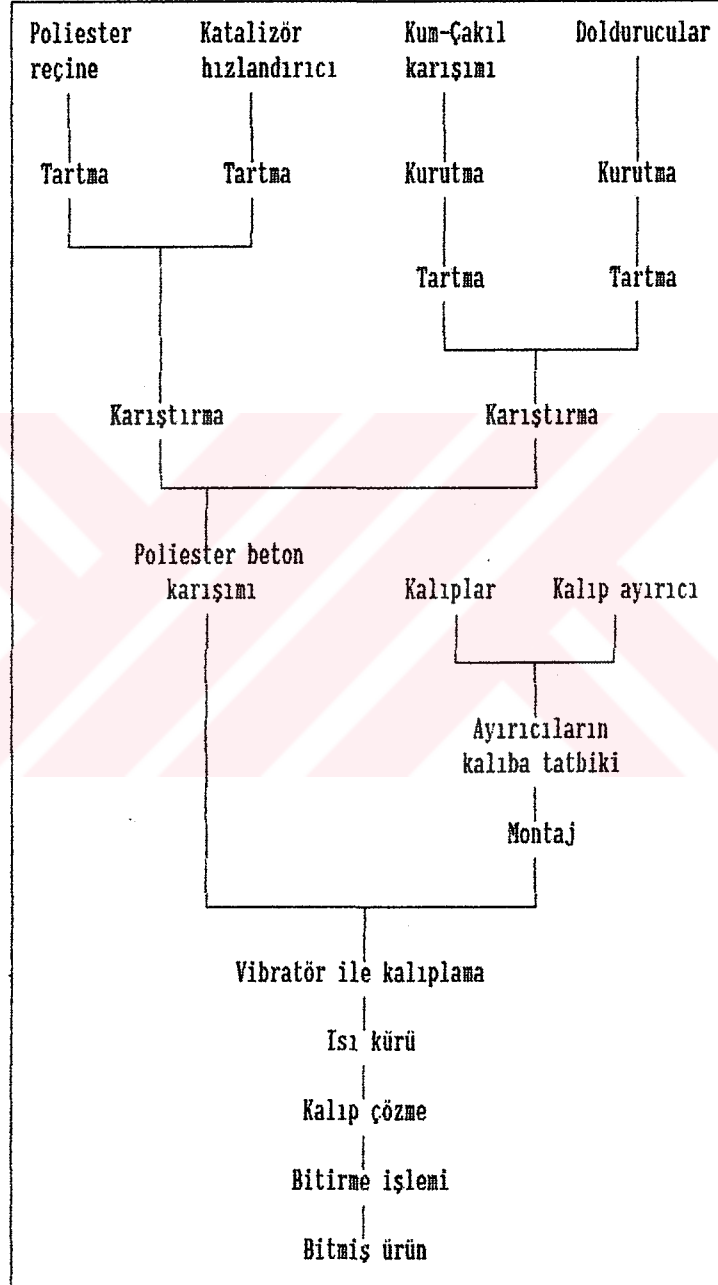
Şekil 3.3 Polimer betonun yapısı/13/



Şekil 3.4 Çimento betonunun yapısı/13/

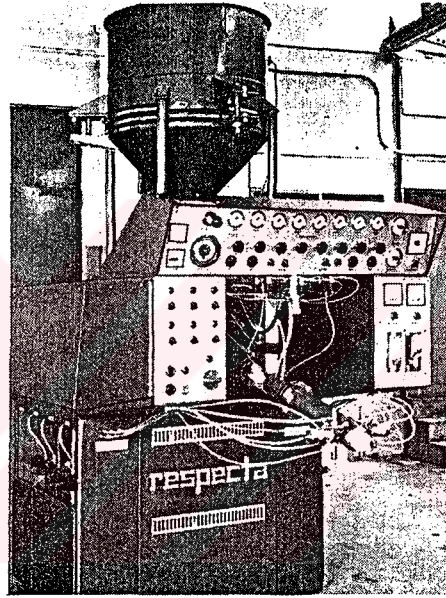
3.4 Polimer Beton üretimi

Polimer beton ürünleri için tipik bir üretim prosesi şekil 3.5 de verilmiştir.



Şekil 3.5 Polimer beton model ürünleri için tipik bir işlem şeması /11/

Karıştırma prosesi basit bir şekilde elle veya kontini çalışan bir karıştırma makinasında yapılır. Elle karıştırma yapılıyorsa şekil 3.5 de gösterilen üretim prosesinden farklı olarak, polimere hızlandırıcı ilave edildikten sonra taneli malzemeyle (agrega, doldurucu) karıştırılır. Kalıplara döküm yapılmadan hemen önce de bu karışıma katalizör katılır. Karıştırma işleminin yapıldığı, üretim kapasitesi 30 daN/dak olan tipik bir polimer beton döküm makinası şekil 3.6 da görülmektedir. Döküm makinasında, şiddetli bir patlamanın meydana gelmemesi için hava ve monomer buharlarının oluşması engellenmelidir /14/.



Şekil 3.6 Polimer beton döküm makinası (Respecta DB 31) /15/

Polimer beton dökümü, istenilen formların icabına göre, genellikle çift kalıp arasına yapılır. Kalıp malzemesi olarak genellikle metal, cam takviyeli plastik (CTP), plastik veya ahşap kullanılır. Yüzey düzgünlüğü ve dayanıklılık açısından paslanmaz çelik ideal bir kalıp malzemesidir. Ancak maliyet yönünden dezavantajlı durumdadır. Ahşap ise, düz yüzeyli formlar için uygun olup, kısa ömürlü bir malzemedir. 20 defaya kadar olan dökümler için ağaç modeller yeterli olmaktadır. Daha fazla sayıda ve daha hassas döküm yapılması isteniyorsa, modellerin bir kısmı veya tamamı metalden yapılmalıdır /16/. CTP ise kolay şekillendirilme, hafiflik, kolay tamir edilebilme ve uygun fiyatı ile diğer malzemelere üstünlük sağlamaktadır. Bu sebeple en yaygın kullanılan kalıp malzemesidir.

İmalat hattında, önce kalıplar temizlenir, yıkanır, yüzey düzgünlüğü kontrol edilir, gerekiyorsa hataları düzeltilir ve dökümünden sonra, ürünün kalıptan ayrılabilmesi için kalıp yüzeyine kalıp ayırıcı denen malzemeler uygulanır. Şayet elde edeceğimiz ürün düz plaka şeklinde ise kalıp ile ürünü ayırma vasıtası olarak rulo filmler (Doymuş poliester, polivinilasetat, PVC v.b) kullanılabilir. Elde edeceğimiz ürün fazlaca girift ise, ayırma vasıtası olarak wax ve polivinil alkol çözeltisi kullanılır. Temiz kalıba önce wax sürülerek parlatılır sonra PVA çözeltisi tek yönlü bir hareketle sürülür. Kalıp ayırıcı film tabakası oluşuncaya kadar yüzeyler toz ve nemden uzak tutulmalıdır. Yoksa ürün kalıba rahatlıkla yapışabilir.

Polimer beton harcı içinde kalan hava habbecikleri ürün kalitesini bozacaktır. Bu nedenle sertleşme başlamadan hava boşlukları dışarı atılmalı ve bu suretle harcın yoğunlaşması sağlanmalıdır. Yoğunlaştırma, vibrasyon, vibrasyon çubuğu, basınç veya santrifuj ile sağlanır. Vibrasyon ile dökümde, ağır ve yüksekliği fazla olan parçalarda standart frekans (Yaklaşık 300 dev/dak), hafif ve yüksekliği az olan parçalarda ise yüksek frekanslarda (Yaklaşık 600 dev/dak) yoğunlaştırma yapılmalıdır /15/. Kalıplara açık yerlerinden içeri, hazırlanmış olan karışım genellikle vibrasyon ile dökülür ve ürünün kalıp içinde sertleşmesi beklenir. Bu süre " **cure time** " diye tabir edilip imalaatın en hassas safhalarından biridir. Bu süre, karışım reçetelerine takriben belirlenebilmesine rağmen, ortam sıcaklığı ve rutubetindeki değişme, ürün kalıbının formu ve kütlesi cure time'ın değişmesi için birer faktördür. Süre sonunda ürün kalıptan çıkarılır, gerekiyorsa çapaklar temizlenir.

3.5 Poliester Beton

Polimer olarak doymamış poliester reçinesi kullanılarak elde edilen polimer beton, özel olarak poliester beton diye adlandırılır.

3.5.1 Doymamış Poliester Reçinesi

Poliester, bir alkol ile bir asidin yoğunlaşma polimeridir. Çift bağ içeren alkol veya asitten biri doymamışsa çapraz bağlı bir polimer elde edilir. Ticari alanda doymamış alkol bulunmadığından doymamış poliesterdeki doymamışlığın kaynağı asitlerdir /7/. Ftalik anhidrit, izoftalik asit gibi doymuş asitler doymamışlık derecesini kontrol için doymamış asitlerle beraber kullanılır. Böylece çapraz bağ-

lanma miktarı değiştirilebilir /4/. Poliester reğinelerinin viskozitesini veya maliyetini dūřürmek amacıyla bazı durumlarda iğerisine stiren katılır. Yalnız stiren miktarının iyi seğilmesi gerekir. Fazla olması halinde son ürün kırılğan olur ve yüzeyinde çatlaklar oluşur. Poliesterin üretiminde birçok faktör değiştirilebileceği için elde edilecek ürünlerin mekanik özellikleri de çok çeşitli olur. Doymamış poliesterlerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri çizelge 3.3 de sunulmuştur.

Çizelge 3.3 Poliesterin (UP) teknik özellikleri /17/

Yoğunluk	: 1.10 - 1.25	gr/cm ³
Çekme mukavemeti	: 10 - 100	N/mm ²
Basınç mukavemeti	: 150	N/mm ²
Eğilme mukavemeti	: 50 - 120	N/mm ²
Elastisite modülü	: 2500 - 4000	N/mm ²
Darbe mukavemeti	: 15	KJ/m ²
Çentik Darbe mukavemeti:	1 - 2	KJ/m ²
Isı iletkenliği (20°C)	: 0.14 - 0.17	W/°K.m

Doymamış poliester reçinesi, sıvı haldeki fiziksel durumunu oda sıcaklığında aylarca koruyabilir. Üretimde kullanılabilmesi için sertleştirme işlemine yani polimerizasyon reaksiyonunu belli bir süreye indirmek gerekir ve bu üç yöntemle sağlanabilir /18/.

1. Ultraviyole ile sertleştirme :

U.V ile sertleştirilecek poliesterde %1 oranında benzoin türevleri ilave edilir. U.V ışık yayan (dalga boyu 0.28 - 0.45 mikron) bir ışık kaynağı altından geğirilir. Burada sertleşecek yüzeyin her m²'sine 5-10 W enerji dūřecek şekilde yakınlık tesbiti yapılır. U.V sertleştirmede doğal güneş ışığından da yararlanılabilir.

2. Soğuk sertleştirme :

En çok kullanılan yöntemdir. Kullanılan peroksit tipine göre ikiye ayrılır. İlki, benzoil peroksit-amin sistemi olup, en büyük avantajı 15°C nin altında bile sağlıklı sertleşme sağlamasıdır. Amin olarak dimetil anilin, dietilanilin en çok kullanılanlardır. Yaygın olarak kullanılan bu aminlerin en büyük sakıncası toksit olmalarıdır. Yan etkileri olmayan aromatik aminler (Fenil etil etanol amin, fenil dietanol amin v.b) etkinliklerinin daha düşük olması ve teminin zor olması gibi nedenlerle yaygınlaşmamıştır. Soğuk sertleştirmede esas yaygın olan uygulama ke-

tonperoksit-kobalt hızlandırıcı sistemidir. Sertleştirici olarak kullanılan metil-etil keton-peroksit %50 lik konsantrasyonda temin edilir. Bu konsantrasyon % 8-11 aktif oksijen içerir. Kobalt hızlandırıcıları ise, kobalt naftalat ve kobalt oktoat, %6-8 konsantrasyonda piyasaya verilir. Hızlandırıcı, hassas olarak tartabilmek ve hesaplarda kolaylık amacıyla % 1 lik solüsyon haline getirilir. MEKP-Kobalt sisteminde optimum miktarlar % 1-% 1 dir. Yani 100 gram poliestere 1 gr % 1 lik kobalt, 1 gr % 50 lik MEKP ilave edilir. Soğuk sertleştirmede kullanılan başka bir keton peroksit de sikloheksanon peroksittir. MEKP'a göre en önemli farkı sertleşme sırasında aşırı ısı vermemesidir. Bu özelliği çok kalın kesitli ürün eldesine olanak tanır. Hızlandırıcı ve sertleştirici ilave edilen poliesterin jelleşme ve sertleşme zamanı ortam sıcaklığına, reçinenin reaktivitesine ve reçine içindeki inhibitör oranına göre değişir. Sıcaklığın polimerizasyon hızına etkisi şu şekilde özetlenebilir. Ortam sıcaklığı 6°C arttığında jelleşme ve sertleşme süresi yarıyarıya düşer. Hızlandırıcının fazla ilavesi jelleşme zamanını kısalttığı halde sertleşme zamanına bariz etkisi olmaz. Sertleştirici miktarının fazlası ise jel zamanını biraz kısaltır, sertleştirme zamanını ise çok fazla kısaltır.

3. Sıcak Sertleştirme

Sıcak pres yöntemi, seri ve çok sayıda ürün alınmasına olanak sağlar. Kalıpların metal olması zorunlu olduğundan ilk yatırımı biraz yüksektir. Poliesterin % 1-3 ' ü oranında sertleştirici kullanılır. Her sertleştiricinin görevini yapabileceği sıcaklık aralığı farklıdır. Çalışma sıcaklığı dibenzoil peroksit de 70-110 °C, butil peroksi benzoat da 130-170°C dir. Sıcak sertleştirme işleminde hızlandırıcı kullanılmaz. Çünkü soğuk sertleştirme prosesinde peroksitlerin parçalanarak aktif hale geçmelerini hızlandırıcılar sağlarken, burada yüksek sıcaklık bu görevi üstlenmiştir.

3.5.2 Poliester Beton üretimi

Poliester beton üretiminde zorunlu olan temel uygulama kuralları vardır. Mükemmel hammaddeler kullanılsa bile, bu kuralların dışına çıkıldığında beklenen sonuç elde edilemez. Bu kurallar :

a)- Atmosferik şartlar : Soğuk sertleştirme yöntemiyle ürün elde ediliyorsa, poliester kullanımı sırasında ortam sıcaklığı 18 - 32 °C arasında, havadaki nem oranı ise % 80 nin altında olmalıdır.

b)- Hammaddelerden istenen şartlar : Kullanılacak poliester ve diğer yardımcı malzemeler, nihai ürünün kullanılacağı ortama göre seçilmiş olmalıdır. Bu

hammadeler yabancı madde ve nem ihtiva etmemelidir.

c)- Üretim araçlarından istenen şartlar : Üretimde kullanılacak araçlar (fırça,ölçü kabı,poliester kabı,tabanca,kalıp v.s) temiz ve amaca uygun olmalıdır. Temizleme vasıtası olarak aseton veya metilen klorit kullanılmalıdır.

d)- Üretim sonrası işlem : Poliester beton elde edildikten sonra en yüksek mukavemet değerini kazanması için 60-100^oC sıcaklıkta birkaç saat ısıtılmalıdır /19/.

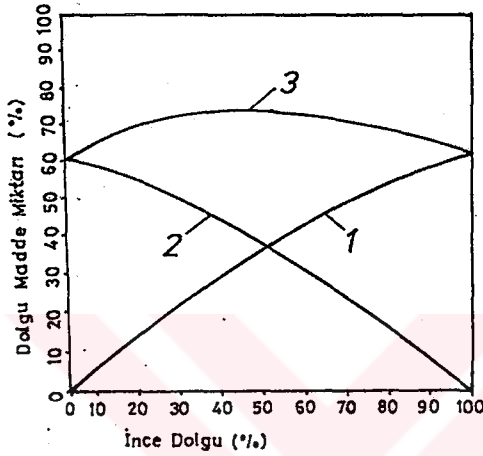
Soğuk sertleştirme yöntemi poliester beton üretimi için en uygun yöntemdir. Bu amaçla genellikle hızlandırıcı olarak kobalt oktoat (poliesterin % 1 i oranında) reçine içine katılır ve dolgu malzemesiyle karıştırılır. Bu karışıma katalizör olarak MEKP (poliesterin % 1 i oranında) ilave edilir ve bunu takiben nihai ürün için kalıplara dökülür.

3.6 Polimer Betonun Teknik Özellikleri

Polimer beton üzerinde 30 seneden bu yana çeşitli araştırmacıların yaptıkları çalışmalar,kullanılan reçinenin tipi, kalitesi ve miktarı, dolgu malzemelerinin cinsi ve tane büyüklüğü dağılımı gibi pek çok değişkene bağlı olarak çok büyük olmamakla birlikte farklı sonuçlar vermiştir. Buna rağmen polimer betonun bazı üstün özellikleri araştırmaların ortak sonucu olmuştur. Bu özellikleri; kimyasal maddelere karşı yüksek dayanıklılık, küçümsenmeyecek mukavemet değerleri, çok az büzülme, şekil değiştirmeye karşı tatminkâr direnci, son derece az su emme özelliği ile dona karşı mukavemet, ısıyı çok az geçirme ve titreşimleri büyük oranda emme şeklinde sayabiliriz. Pek çok değişken polimer betonun özelliklerini büyük oranda değiştirmektedir. Örneğin elastisite modülü ve basınç mukavemeti, birleştirici maddenin mukavemetinden, agreganın mukavemetinden, biçiminden, neminden ve tane büyüklüğü dağılımından olduğu gibi, birleştirici madde ve agrega arasındaki yapışma mukavemetinden de etkilenir. Mukavemet değerlerinin tesbitinde yükleme hızı da önemli rol oynar. Yükleme hızıyla % 15 lik bir suni mukavemet artışı görülebilir /10/.

3.6.1 Reçine/Dolgu Oranının Etkisi

Tokyo Teknoloji Enstitüsü ve Kobe Üniversitesinde polimer betonun mekanik özelliklerinin bileşimin değişimine olan bağımlılığı araştırılmıştır. Numunelerde iki farklı çekirdek büyüklüğünde dolgu malzemesi kullanılmıştır. Şekil 3.7 de silindirik bir kaptaki ince ve iri dolgu maddesi miktarlarının değiştirilmesiyle elde

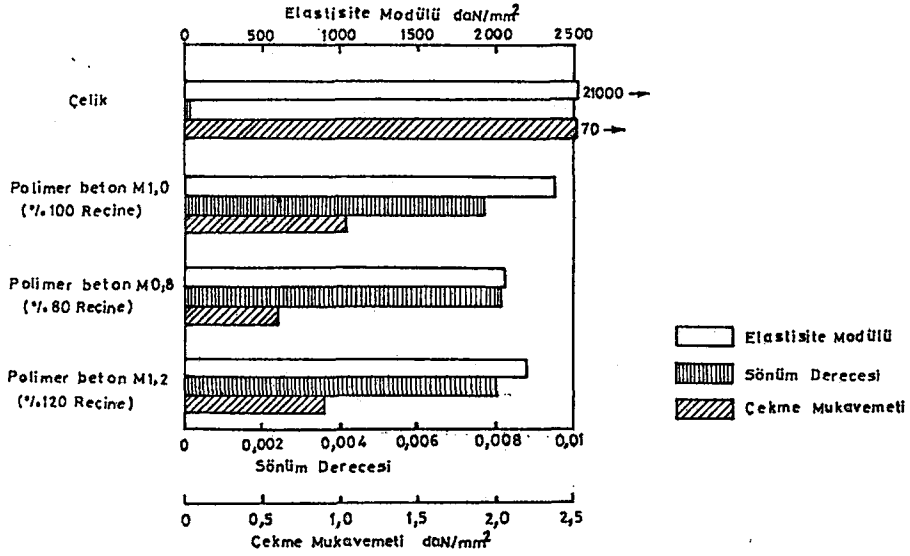


- 1.İnce dolgu mad.(<2mm)mik.(%)
- 2.İri dolgu mad.(7-10mm) mik.(%)
- 3.Toplam dolgu madde miktarı

Şekil 3.7 Tane büyüklüğü dağılımının etkisi /20/

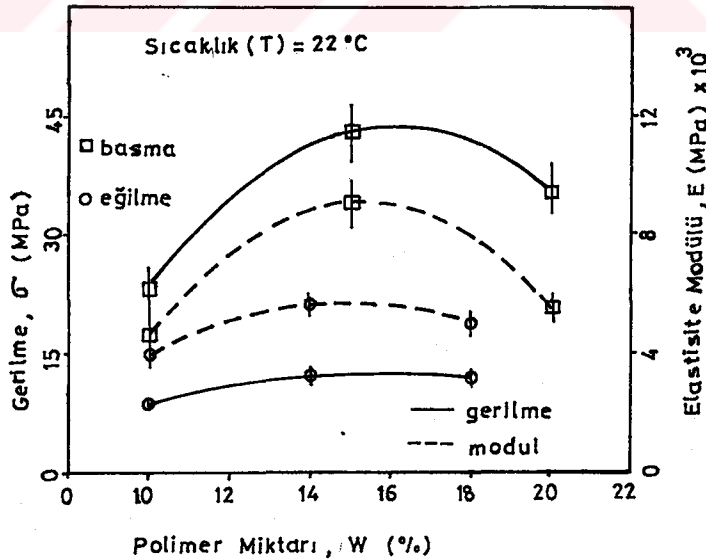
edilen hacim oranları gösterilmiştir. İnce dolgu maddelerinin oranı % 37 olduğunda dolgu maddelerinin toplam değeri % 72,5 la bir maksimum veriyor. Reçine yüzdesi de dolgu maddeleri arasındaki boşlukları tamamen dolduracak şekilde belirlemiştir /20/.

Reçine miktarının değişimi ile bazı mekanik özelliklerdeki değişimi belirlemek amacıyla dolgu malzemeleri arasındaki boşluğu dolduracak olan reçine (EP) miktarı (toplam hacmin % 27,5 u) % 100 alınarak diğer numunelerde bu miktar % 80 ve % 120 şeklinde değiştirilmiştir. 50 mm çapında, 300 mm yüksekliğinde numuneler kullanılarak elde edilen sonuçlar şekil 3.8 de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre reçine miktarının azalması veya artmasıyla elastisite modülü ve çekme mukavemeti düşmekte, sönümlenme değerinde ise bir değişim olmamıştır /20/. Çekme deneyi ile koparılan polimer beton numuneler incelendiğinde, kopmanın iri taneli dolgu maddelerinden olduğu görülmüştür. Bu nedenle yüksek çekme mukavemeti elde etmek için sadece ince dolgu maddeleri kullanılmalıdır /20/.



Şekil 3.8 Çeliğin ve değişik reçine miktarlarında polimer betonun özellikleri /20/

Vipulanandan, Dharmarajan (1986) poliester yüzdesine bağlı olarak polimer betonun mukavemet değerleri ve elastisite modülünün değişimini araştırmışlar ve şekil 3.9 daki sonuçları elde etmişlerdir. Belirli bir değere kadar polimer miktarının (% 15) artmasıyla elastisite modülü ve mukavemet değerleri artmakta, bu



Şekil 3.9 Reçine yüzdesiyle polimer beton özelliklerinin değişimi /21/

değerler polimer oranının daha fazla artmasıyla azalmaya başlamaktadır. Ayrıca vibrasyonlu döküme göre basınçlı dökümle elde edilen ürünlerde daha yüksek mu-

kavemet ve elastisite modülü değerleri elde edilmektedir /21/.

Kruger (1985) 'in araştırma sonuçlarına (Çizelge 3.4) göre en yüksek mukavemet değerlerine, poliester oranının % 10 olması durumunda ulaşılabilmektedir /8/.

Çizelge 3.4 Polimer Betonun Mekanik Özellikleri /8/

POLİMER	Polimer: Agregata oranı	Yoğunluk (g/cm ³)	Gerilme Şekli (MPa)			Elastisite modülü (GPa)
			Basma	Çekme	Egilme	
Polyester	1:10	2.34	110	14	40	28
Polyester	1: 9	2.33	70	--	17	28
Polyester-styrene	1: 4	--	82	--	--	--

Kamal, Tawfik ve Nosseir (1987), farklı ortamlarda üretilen numunelerin elastisite modülü ve büzülme miktarındaki değişmeyi görmeyi amacıyla, ince ve iri kum şeklinde iki gruba ayırdıkları dolgu malzemeleriyle çeşitli karışım oranlarında hazırladıkları poliester harcını havada ve fırında (60°C) de sertleştirmiş-

Çizelge 3.5 Poliester betonun elastisite modülü ve büzülme miktarı/22/

Test Özellikleri	Kurutma Metodu	Poliester Harcı			
		P:F:C	P:F:C	P:F:C	P:F:C
		1:3:0	1:4:0	1:3:1	1:3:3
E (daN/mm ²)	Hava	1500	1400	1400	1300
	Fırın (60°C)	1300	1200	1200	1100
Büzülme (%)	Hava	0.8	0.75	0.76	0.6
	Fırın (60°C)	0.75	0.73	0.7	0.58

P:Polimer, F:İnce kum, C:İri kum

lerdir. Çizelge 3.5 de verdikleri deney sonuçlarına göre poliester oranının artmasıyla hem elastisite modülü hem de büzülme miktarı artmaktadır. Ayrıca fırında

sertleştirilen numunelerde de elastisite modülü ve büzülme miktarı değerleri düşmektedir /22/.

Hornikel (1974), reçine miktarının artması ile polimer betonun büzülmesinin de arttığını çizelge 3.6 da açık bir şekilde ortaya koymuştur /23/.

Çizelge 3.6 Reçine /dolgu miktarının büzülme üzerine etkisi /23/

Reçine		Büzülme		Agreganın tane boyutu
Ağırlık %	daN/m ³	% (± 0.05)	mm/m	
8	190	0.10	1	0-15 mm
10	230	0.15	1.5	0- 7 mm
12	270	0.20	2.0	0- 3 mm
16	350	0.25	3.0	0- 1 mm
20	420	0.35	3.5	0- 0.6 mm
22	450	0.45	4.5	0- 0.3 mm
25	500	0.60	6.0	0- 0.1 mm
30	580	0.70	7.0	< 80 µm
40	710	1.20	12.0	< 40 µm
50	820	1.45	14.0	< 20 µm
100	1200	1.70	17.0	Agregasız

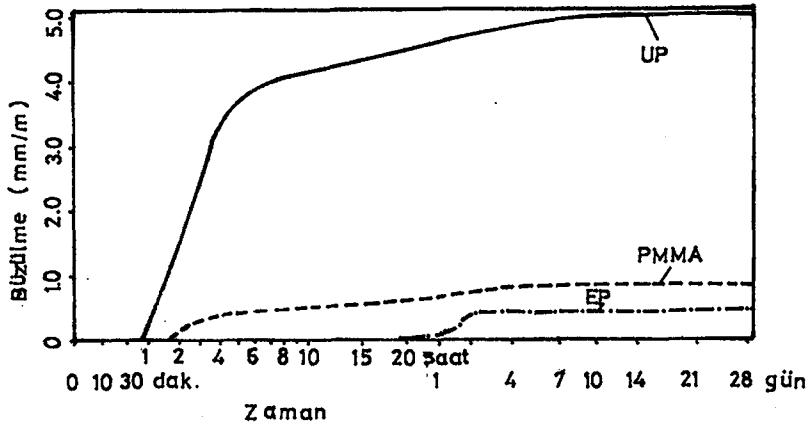
3.6.2 Reçine Tipinin Etkisi

Çeşitli polimer bağlayıcılarının kullanılmasıyla polimer betonun mekanik özelliklerinin değişimini inceleyen Ohama'nın sunduğu sonuçlar çizelge 3.7 de verilmiştir. Sonuçlara göre poliester,epoksi ve PMMA reçinelerinin kullanılmasıyla daha yüksek mukavemet değerleri elde edilebilmektedir /11/.

Çizelge 3.7 Reçine tipinin polimer betonun fiziksel ve mekaniksel özelliklerine etkisi /11/

Özellikler	Özgül Ağırlık daN/m ³	Mukavemet daN/cm ²			Elastisite 4 mod.*10 daN/cm ²	Su Absorbesi W, %
		Basma	Çekme	Egilme		
Reçine Tipi:						
Furan	2200-2400	700-800	50-80	200-250	20-30	0.05-0.3
Poliester	2200-2400	800-1600	90-140	140-350	15-35	0.05-0.2
Epoksi	2100-2300	800-1200	100-110	170-310	15-35	0.05-0.3
Poliüretan	2000-2100	650-720	80-90	200-230	10-20	0.3 -1.0
Fenol	2200-2400	500-600	30-50	150-200	10-20	0.1 -0.3
PMMA	2200-2400	800-1500	70-100	150-220	15-35	0.05-0.6
Referans Malzemeler:						
Asfalt- betonu	2100-2400	20-150	2-10	20-150	1-5	1.0 -3.0
Çimento- betonu	2300-2400	100-600	10-50	20-70	20-40	4.0 -6.0

Stawowy (1984), UP, EP ve PMMA reçineli betonların büzülmesini incelemiştir. 500*90*10 mm boyutlarındaki numunelerde reçine miktarı % 20 dir.

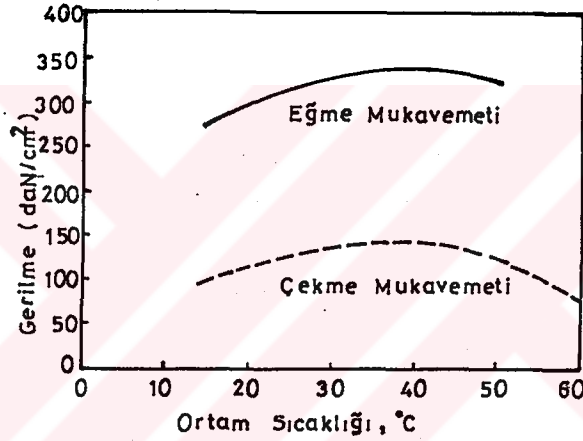


Şekil 3.10 Reçine tipinin polimer betonun büzülmesine etkisi /24/

Şekil 3.10 da görülen deney sonuçlarına göre EP reçinelibetonda 0,5mm/m, PMMA reçineli betonda 1 mm/m ve UP reçineli betonda da 5 mm/m büzülme meydana gelmiştir. Bu nedenle hassas ölçülerdeki parçaların epoksi reçinesinden yapımı tercih edilmelidir /24/.

3.6.3 Sıcaklığın Etkisi

Möller, Gleich ve Lamminger (1969) 'in polimer betondan imal ettikleri borular üzerinde yaptıkları araştırma sonuçları aşağıda sunulmuştur /25/.

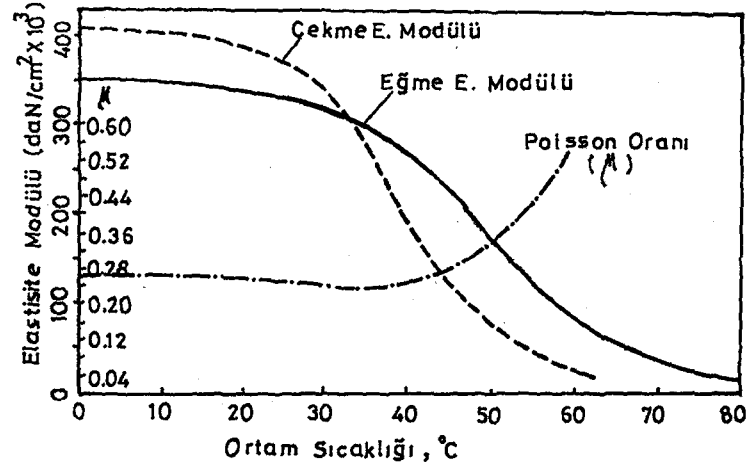


Şekil 3.11 Sıcaklığın eğme ve çekme mukavemetine etkisi /25/

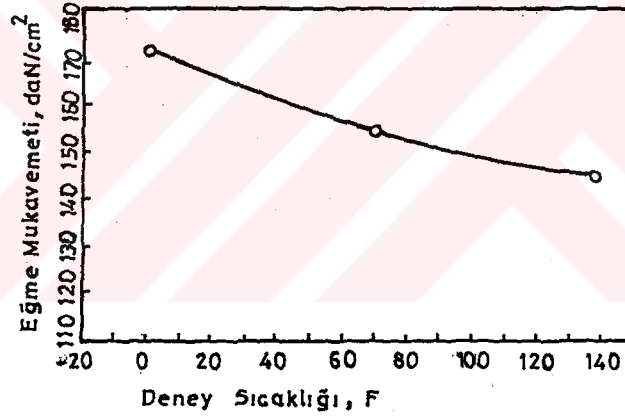
Şekil 3.11 de eğme ve çekme mukavemet değerlerinin sıcaklıkla değişimi verilmiş olup, 40°C de maksimum dayanım elde edilmektedir.

Şekil 3.12 de elastisite modülü ve poisson oranının sıcaklığa bağımlılığı görülmektedir. 35-40°C den sonra elastisite modülü hızla düşerken poisson oranı yükselmektedir /25/.

Haddad, Fowler ve Paul (1983) polimer betonun mekanik özellikleri üzerinde yaptıkları araştırma sonuçlarına göre test sıcaklığının - 18°C den 58°C ye kadar artmasıyla polimer betonun elastisite modülü, basma ve eğme mukavemeti azalmaktadır. Şekil 3.13 de eğilme mukavemetindeki değişim verilmiştir /26/.



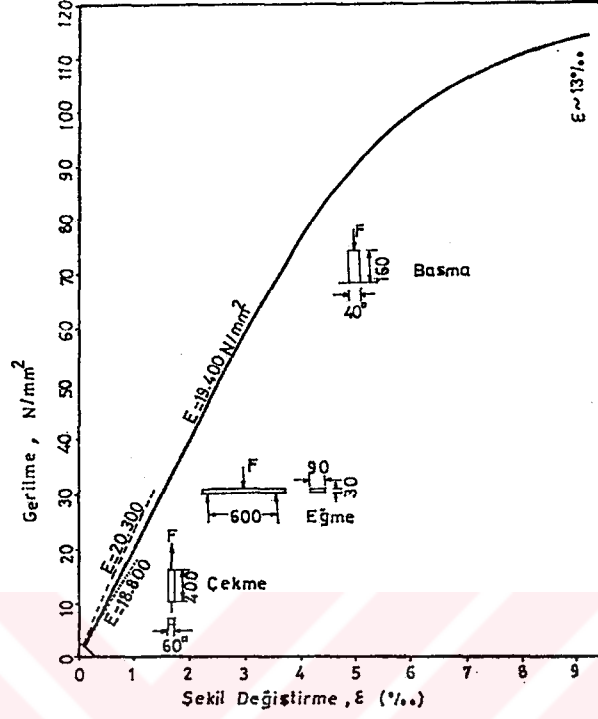
Şekil 3.12 Sıcaklığın elastisite modülü ve poisson oranına etkisi /25/



Şekil 3.13 Eğme mukavemetinin sıcaklık ile değişimi /26/

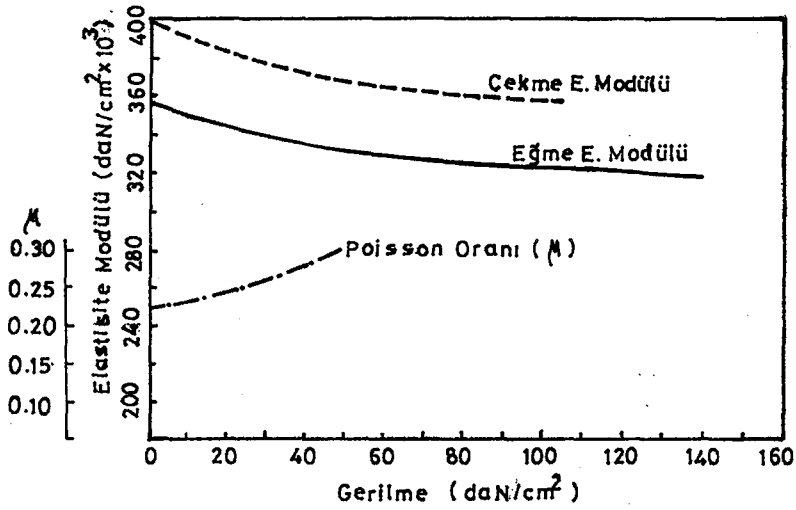
3.6.4 Gerilmenin Etkisi

Grache, çekme, basma ve eğme zorlamaları altındaki poliester reçineli beton numunelerin gerilme deformasyon değişimini şekil 3.14 de vermiştir. Bu eğrilerin eğimleriyle bulunan elastisite modülleri arasında büyük farkların olmadığı görülmektedir /27/.



Şekil 3.14 Gerilme şeklinin elastisite modülüne etkisi /27/

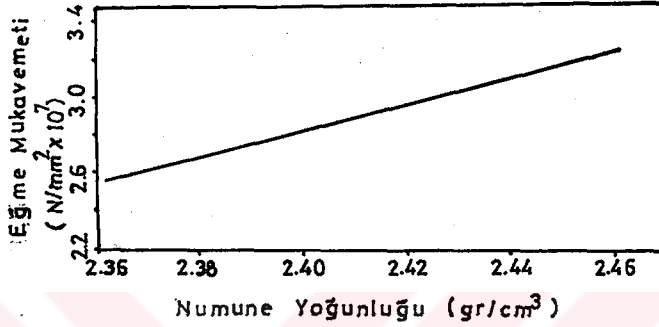
Möller, Gleich ve Lamminger (1969), çekme ve eğme gerilmesi altındaki numunelerde gerilmenin artmasıyla elastisite modülünün azaldığını, poisson oranının ise arttığını göstermişlerdir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15 Gerilme seviyesinin elastisite modülü ve poisson oranına etkisi /25/

3.6.5 Yoğunluğun Etkisi

Haque ve Armeniades'in şekil 3.16 da verilen sonuçlarına göre yoğunluğun $3,36 \text{ gr/cm}^3$ den $2,46 \text{ gr/cm}^3$ 'e kadar artmasıyla beraber polimer betonun eğme mukavemeti de artmaktadır /28/.



Şekil 3.16 Yoğunluğun eğme mukavemetine etkisi /28/

Metakrilat reçineli betonda elastisite ve kayma modülü ile yoğunluk arasında lineer bir ilişki olduğunu belirten Schulz bu ilişkiyi aşağıdaki bağıntılar ile vermiştir /29/.

$$E = 33792 * \rho - 39500 \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$G = 33153 * \rho - 61294 \quad (\text{N/mm}^2)$$

$$\rho : (\text{gr/cm}^3)$$

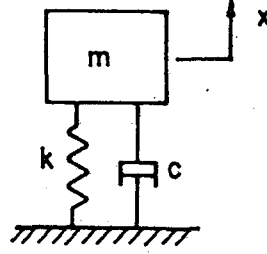
BÖLÜM 4

TİTREŞİM TEORİSİ VE SÖNÜM

4.1 Titreşim Teorisi

Bir sistemin veya elemanın denge konumu etrafında yaptığı salınım hareketi **titreşim** olarak tarif edilir. Genel halde titreşim, bilhassa makinalarda parçaların kırılması ve gürültüye yolaçması nedenlerinden dolayı istenmeyen ve lüzumsuz bir enerji halidir. Buna mukabil bazı ölçme aletleri, elek ve vibratör gibi makinalarda da titreşime ihtiyaç vardır. Titreşimler, periyodik ve periyodik olmayan titreşimler olarak iki grupta incelenirler. Periyodik titreşimlerde, belirli sürede tüm özellikleriyle tekrarlanan bir hareket sözkonusudur. Hareketin tekrar süresine **periyot**, saniyedeki tekrar sayısına **frekans** denir.

Titreşen en basit sistem, bir yayın ucuna bağlanmış bir küttür. Böyle bir sistem, denge konumundan uzaklaştırıldıktan sonra serbest bırakılırsa, denge konumu etrafında salınımlar gözlenir. Bu salınımlara **serbest titreşimler** adı verilir. Serbest titreşimler, bir sistemin, üzerinde hiçbir dış kuvvet yokken, yalnız başlangıç koşulları nedeniyle yaptığı titreşimlerdir. Şekil 4.1 de titreşim yapan bir sistemin en basit modeli görülmektedir. Burada k sistemin rijitliğini gösteren yay katsayısı, m sistemin toplam küttü, c ise sistemin enerji kaybını gösteren viskoz sönüm katsayısıdır. x , sistemin belli bir başlangıç konumuna göre yer değiştirmesini göstermektedir. Şekilde gösterilen model, tek serbestlik dereceli bir modeldir. Herhangibir sistemin titreşim analizinin yapılabilmesi için, amaca uygun bir matematik modelinin elde edilmesi gerekir. Şekil 4.1 deki model, basit bir kütle-yay sistemini gösterebileceği gibi, çok daha karmaşık bir sistemin, örneğin bir takım tezgahının da modeli olabilir. Takım tezgahını modellememizdeki amaç, tezgahın tek bir doğrultudaki titreşimlerini incelemek ise, bu model yeterli olabilir. Amaç, tezgahı düşey titreşimleri yanında yanal titreşimlerini ya da yalpa hareketini de incelemekse, daha karmaşık bir modele gereksinim duyulur. Amacımızı, tezgah gövdesinin yapısal titreşimlerini incelemek şeklinde genişletecek olursak, sistemin sonlu elemanlar yöntemiyle ya da benzeri bir yöntemle elde edilen yüksek dereceli bir modeli gerekir /30/.



Şekil 4.1 Titreşen bir sistemin en basit modeli /30/

Bir mekanik sistemin amaca uygun şekilde modellenerek, geçerli bir matematik modelin elde edilmesi her zaman kolay olmayabilir. Mekanik bir sistemin tek serbestlik dereceli bir modelinin elde edilmesi ise çoğunlukla kolaydır. Temel ilke; kütle, rijitlik ve sönüm özelliği bulunan elemanların bu özelliklerinin, sırasıyla kütle, yay katsayısı ve viskoz sönüm katsayısı olarak gösterilebilmesidir. Aynı özelliği taşıyan birden çok eleman içeren sistemlerde; ya bu özellikler uygun bir şekilde biraraya toplanabilir ve birer eşdeğer kütle, eşdeğer yay katsayısı ve eşdeğer viskoz sönüm katsayısı bulunabilir, ya da bir elemanın kütlesi yanında diğer elemanların kütleleri sıfır alınabilir ve böylece her özellik yalnız bir elemandan gelecek şekilde eşdeğer özellikler bulunabilir /30/.

4.1.1 Sönümsüz Serbest Titreşimler

Şekil 4.1 de gösterilen tek serbestlik dereceli sistemin hareketini tanımlayan diferansiyel denklem (hareket denklemi)

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + c \frac{dx}{dt} + kx = 0 \quad (4.1)$$

şeklinde yazılabilir. Sistemin sönümsüz olması durumunda ($c=0$), hareket denklemi

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + kx = 0 \quad (4.2)$$

şeklini alır. Bu denklemin çözümü ;

$$x(t) = X \sin(\omega_n t - \varphi) \quad (4.3)$$

olarak yazılabilir. Burada, X titreşimin genliğini, φ faz açısını, ω_n ise sistemin doğal frekansını göstermektedir. Sönümsüz bir sistemin serbest titreşimleri, bir sinüs eğrisiyle gösterilebilen harmonik titreşimlerdir. Sistemin serbest titreşimlerinin frekansına **doğal frekans** adı verilir. Bir sistemin doğal frekansı, sistemin bir özelliğidir ve sistemin kütlesiyle, yay katsayısı tarafından belirlenir. Eşitlik (4.2) ile tanımlanan bir sistem için, doğal frekans ;

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (4.4)$$

şeklinde bulunur /30/.

4.1.2 Sönümlü Serbest Titreşimler

Tek serbestlik dereceli sönümlü sistemin eşitlik (4.1) de verilen hareket denkleminin çözümü $c/2\sqrt{km}$ oranına bağlı olarak değişik şekillerde olabilir. Bu orana **sönüm oranı** adı verilir ve ζ ile gösterilir. Boyutsuz bir parametre olan ζ aşağıdaki şekilde tanımlanır :

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}} \quad (4.5)$$

Sönüm oranının değeri, serbest titreşimlerin özelliğini belirler :

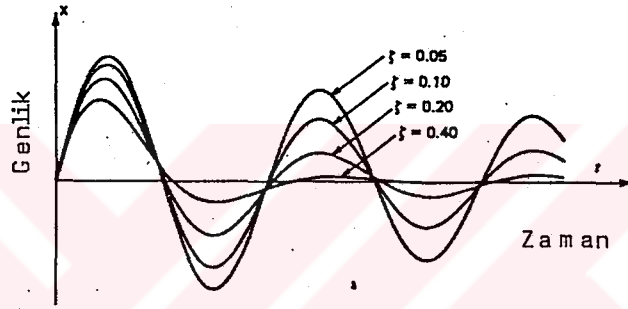
- 1) $\zeta < 1$: Kritik altı sönüm
- 2) $\zeta = 1$: Kritik sönüm
- 3) $\zeta > 1$: Kritik üstü sönüm

Sönümün kritik yada kritik üstü olması durumunda ($\zeta \geq 1$), serbest titreşimlerde denge konumu etrafında salınım söz konusu değildir. Sönüm oranı birden küçük olan sistemlerde, yani kritik altı sönümlü sistemlerde, serbest titreşimler şekil 4.2 de gösterildiği gibidir. Mekanik sistemlerde sönüm oranı genellikle birden küçük olduğu için kritik altı sönümlü sistemler ayrı bir önem kazanmaktadır. Bu nedenle, bu kısımda yalnız kritik altı sönümlü sistemler için hareket denkleminin çözümünü incelememiz yeterli olacaktır. $\zeta < 1$ için, eşitlik (4.1) in çözümü;

$$x(t) = X * e^{-\zeta \omega_n t} \sin(\omega_d t - \varphi) \quad (4.6)$$

şeklinde yazılabilir. Burada, X ve φ yine başlangıç koşullarına bağlı olarak değişen sabitler, ω_n doğal frekans, ω_d ise sönümlü doğal frekanstır. Eşitlik (4.6) dan da anlaşılacağı gibi hareket, genliği zamanla azalan harmonik bir harekettir ve hareketin frekansı ω_d 'dir. Sönümlü doğal frekans ; doğal frekans ve sönüm oranı tarafından belirlenir.

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} \quad (4.7)$$



Şekil 4.2 Kritik altı sönümlü sistemlerde serbest titreşimler /30/

4.1.3 Zorlanmış Titreşimler

Sistem kütlesine $F(t)$ gibi bir dış kuvvetin uygulanmasıyla oluşan titreşimlere **zorlanmış titreşimler** adı verilir. Zorlanmış titreşimlerde, titreşim özellikleri sistem üzerindeki dış kuvvetin özelliklerine bağlıdır. Mekanik titreşimler açısından harmonik zorlama en önemli uyarı şeklidir. Bunun nedeni, endüstriyel uygulamalarda uyarı kuvvetinin, genellikle dönen dengesiz parçalardan doğan harmonik kuvvet oluşudur. F_0 genlikli ve ω frekanslı

$$F(t) = F_0 \cdot \sin(\omega t) \quad (4.8)$$

şeklindeki harmonik bir kuvvetin, sistem kütlesi üzerine uygulanması ile oluşan zorlanmış titreşimler

$$x(t) = X_0 \cdot \sin(\omega t - \varphi) \quad (4.9)$$

eşitliğiyle gösterilebilir. X_0 ve φ , aşağıdaki eşitliklerle belirlenen titreşim genliği ve faz açısıdır :

$$X_0 = \frac{F_0/k}{\sqrt{(1-\omega^2/\omega_n^2)^2 + (2\zeta\omega/\omega_n)^2}} \quad (4.10)$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{2\zeta\omega/\omega_n}{1-\omega^2/\omega_n^2} \quad (4.11)$$

Görüldüğü gibi harmonik bir uyarı kuvveti, bu kuvvetle aynı frekansta olan harmonik titreşimler yaratmaktadır. Titreşimlerin genliği X_0 ve faz açısı φ sistem özellikleri ve uyarı kuvveti tarafından belirlenmektedir. Eşitlik (4.10)'un payında bulunan F_0/k terimi, F_0 değerindeki statik bir kuvvetin sistemde yaratacağı statik yerdeğiştirmeyi verir. X_0 ise, aynı F_0 kuvvetinin ω frekansında harmonik olarak uygulanmasıyla elde edilecek en büyük dinamik yerdeğiştirmeyi verecektir. En büyük dinamik yerdeğiştirmenin (titreşim genliğinin), statik yerdeğiştirmeye oranına **büyütme faktörü** adı verilir. Büyütme faktörü A_v ;

$$A_v = \frac{X_0}{F_0/k} \quad (4.12)$$

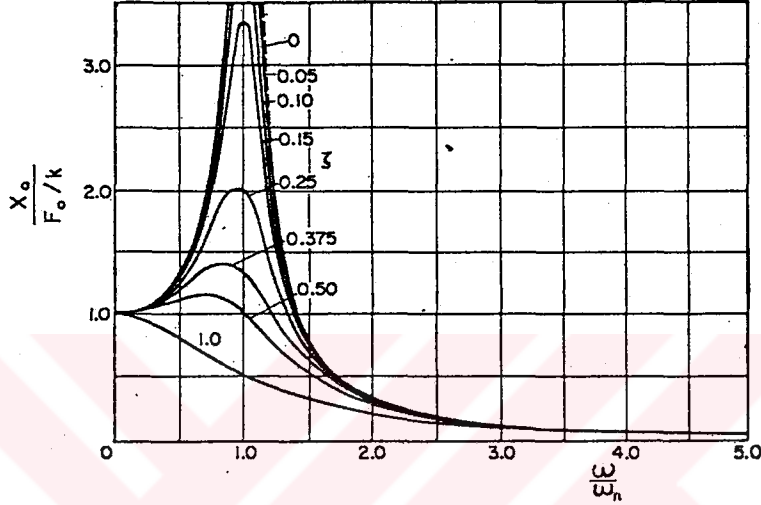
Büyütme faktörü, boyutsuz bir parametredir ve yalnız frekans oranıyla, sönüm oranının fonksiyonudur. Bu nedenle, büyütme faktörünün, ω/ω_n ve ζ boyutsuz değişkenlerine bağlı olarak değişiminin incelenmesiyle bazı genel sonuçlar elde edilebilir. Şekil 4.3 de büyütme faktörünün frekans oranıyla değişimi, çeşitli sönüm oranları için verilmiştir. Bu eğrilerin incelenmesiyle şu sonuçlar çıkarılır.

1. Sönümsüz bir sistem, doğal frekansında uyarıldığında sistemin büyütme faktörü, dolayısıyla titreşim genliği sonsuza gider. Az sönümlü sistemlerde ise büyütme faktörü en büyük değerine, ω_n 'e yakın bir frekansta ulaşır. Bu duruma **rezonans** adı verilir.

2. Belli bir frekans oranındaki büyütme faktörü, sistemin sönümü arttıkça azalır. Sönümün en etkili olduğu bölge rezonans bölgesi adını verdiğimiz rezonans frekansı dolaylarındaki frekansları içeren bölgedir.

3. Frekans oranının birden çok büyük değerleri için büyütme faktörü sıfıra yaklaşır. Bu bölgede sönümün etkisi yok denecek kadar azdır.

4. Frekans oranının birden çok küçük değerleri için büyütme faktörü bire yaklaşır. Bu bölgede de sönümün etkisi yok denecek düzeydedir.



Şekil 4.3 Çeşitli sönüm oranları için büyütme faktörünün frekans oranı ile değişimi /30/

Titreşim kontrolünde, sıralanan bu sonuçlar gözönünde tutulmalıdır. Örneğin, doğal frekansından çok yüksek bir frekansta titreştirilen bir sistemin, titreşim genliğini düşürmek amacıyla sisteme sönüm eklenmesinin fazla bir yarar sağlamayacağını kolayca söyleyebiliriz. Ya da, rezonans yakınında titreşen bir sistemde en etkili önlemin, uyarı frekansını veya doğal frekansını değiştirerek rezonans bölgesinden kaçmak olduğunu, bunun olanaksız olduğu durumlarda ise, sisteme eklenen sönümün titreşim genliğini önemli ölçüde azaltacağını görebiliriz.

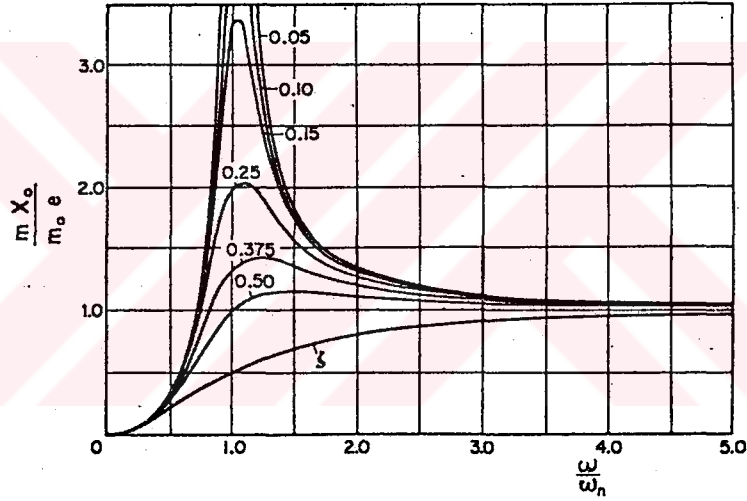
Bir çok makinada, harmonik uyarı kuvvetinin kaynağı, dönen dengesiz bir kütledir. Böyle bir harmonik kuvvetin genliği uyarı frekansını ile değişir. Bu durumda, sabit genlikli harmonik kuvvet için verilen şekil 4.3 ve bu şeklin incelenmesinden çıkarılan sonuçlar geçerli olmaz. Merkez kaçıklığı e olan dengesiz bir m_0 kütlesinin ω hızında dönmesinden oluşan kuvvetin, titreşim yarattığı doğrultudaki bileşeni ;

$$F(t) = m_0 * e * \omega^2 * \sin \omega t \quad (4.13)$$

şeklinde yazılabilir. Bu kuvvetin yaratacağı harmonik titreşimlerin genliğini bulmak için, sabit F_0 genlikli harmonik kuvvet için verilen (4.10) eşitliğinde F_0 yerine $m_0 e \omega^2$ konular ve gerekli düzenlemeler yapıp ;

$$\frac{mX_0}{m_0 e} = \frac{(\omega/\omega_n)^2}{\sqrt{(1-\omega^2/\omega_n^2)^2 + (2\zeta\omega/\omega_n)^2}} \quad (4.14)$$

şeklinde yazılırsa, $mX_0/m_0 e$ boyutsuz büyüklüğünün frekans ve sönüm oranıyla değişimi kolayca incelenebilir(şekil 4.4). Burada m_0 dönen dengesiz kütle, m ise toplam sistem kütlelerini göstermektedir.



Şekil 4.4 Çeşitli sönüm oranları için, $mX_0/m_0 e$ değerinin frekans oranı ile değişimi /30/

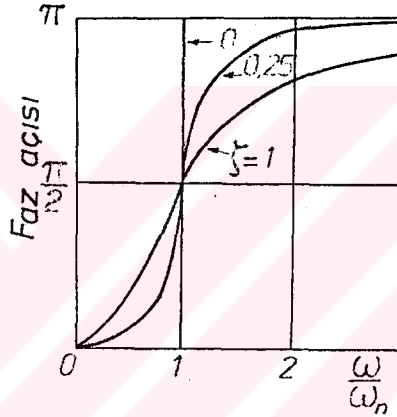
Şekil 4.4'ün incelenmesinden çıkan bazı önemli sonuçları şu şekilde sıralayabiliriz :

- 1.- Uyarı frekansının, sönümsüz sistemlerde doğal frekansa, az sönümlü sistemlerde ise doğal frekansa yakın bir rezonans frekansına eşit olması durumunda, sistem rezonansa gelir ve titreşim genliği enbüyük değerine ulaşır.
- 2.- Sönümün artmasıyla, belli bir frekans oranında elde edilen titreşim genliğinde azalma olur. Sönüm en çok rezonans bölgesinde etkilidir.
- 3.- Uyarı frekansı ω küçüldükçe, uyarı kuvvetinin genliği de küçüleceğinden titreşim genliği düşer. Bu koşullarda sönümün titreşim genliğine etkisi çok

azdır.

4.- Uyarı frekansı doğal frekanstan çok büyük ise, titreşim genliği $m_0 e/m$ değerine yaklaşır. Bu bölgede sönümün titreşim genliğine etkisi yine çok azdır.

Yüksek hızda dönen bir fanın dengesizliğinden kaynaklanan titreşimleri azaltabilmek için, dönme hızına göre çok küçük olan sistem doğal frekansını değiştirmenin ya da sistem sönümünü artırmanın sonuç vermiyeceği, yukarıdaki dördüncü sonuca dayanarak söylenebilir. Ayrıca, sistem titreşim genliğinin bu koşullarda yaklaşık olarak $m_0 e/m$ olacağını bildiğimizden, titreşimi azaltmanın tek yolunun dengesizliği ($m_0 e$) azaltmak ya da toplam sistem kütlesini (m) artırmak ol-



Şekil 4.5 Faz açısının değişimi /31/

duğunu görürüz. Sönüm değerine bağlı olarak faz açısı $0 - 180^\circ$ arasında değer alabilir (şekil 4.5)

4.2 Sönümlenme

Sönümlenme terimi bu bölümde kullanıldığı üzere çevrimsel gerilim altındaki bir sistemde malzemenin enerji tüketme özellikleriyle ilgilidir. Fakat dinamik absorblayıcılar gibi enerji transfer mekanizmalarına ilişkin değildir. Bundan anlaşılacağı gibi, enerji titreşen bir sistem içerisinde tüketilmelidir. Çoğu durum için mekanik enerjinin ısıya dönüşmesi sözkonusudur. Kolaylık olması için sönümlenme ; 1. Malzeme sönümlenmesi (iç sönüm), 2. Sistem sönümlenmesi (dış sönüm) olarak sınıflandırılır.

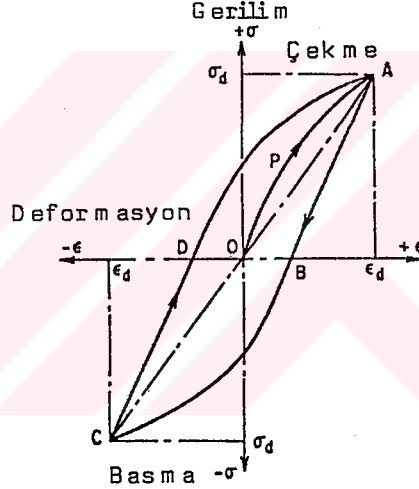
4.2.1 Mühendislik Özelliği Olarak Sönümlenmenin Önemi

Makinalarda titreşimlerin ortaya çıkması kaçınılmazdır. Makina veya elemanlarındaki iç sönümlenme (malzeme iç direnci) ve dış sönümlenme (damper, absorber v.b) ile titreşimlerin etkileri azaltılmaktadır. Bir yapı malzemesinde yüksek sönümlenmenin istenip istenmemesi eldeki mühendislik uygulamasına bağlıdır. Rezonans değeri yakınındaki çevrimsel veya ani uygulanan kuvvetlere maruz kalan makina parçalarında, yorulma ömrünü artırmak ve zirve gerilimlerini limitleme ile ilgilenen konstrüktör için sönümlenme istenen bir özelliktir. Yüksek genlikli rezonans titreşimleri çeşitli aletlerde karşımıza çıkmaktadır. Sıkça kaba ve gürültülü çalışmaya sebep olurlar. Bu rezonans titreşim genliklerini minimize etmek için çeşitli tipteki sönümleyiciler (dış sönüm) uygulanabilir. Sistemde enerji transfer etmek için kullanılabilmesine rağmen, birçok durumda bu yardımcı sönümleyiciler pratik değildir. Böyle durumlarda malzemenin doğru seçilmesi önemli hale gelir /32/.

Yüksek sönüm miktarı, rezonans bölgelerindeki geçişlerde veya zorunlu çalışma durumlarında, konstrüksiyonda iyi sonuçlar vermektedir. Meselâ, jeneratör millerinde rezonans frekanslarından veya harmoniklerinden mutlaka geçiş vardır. Dökme demir, yüksek sönüm değerine sahip olduğu için, jeneratörlerde ve benzeri yerlerde yatak gövdelerinde dökme demir esaslı malzemeler kullanılır. Böylece millerin titreşim amplitüdlerinde dikkate değer azalmalar görülür. Eğer gürültü azaltılması önemli ise, sönümlenme yine istenen bir özelliktir. Ancak iç sönümün yüksek olması, sönümlenen enerjilerin miktarını da artırır. İç sönüm, malzemenin iç sürtünmesinden doğmaktadır. Isıya dönüşür, dolayısıyla kayıp enerjidir. Meselâ bir dizel jeneratöründe kritik hız bölgelerindeki titreşimlerin beslenmesi için verilen (kayıp) güç, motorun efektif güç değerinin % 10'nuna kadar erişebilmektedir. Kayıp enerjinin bir kısmı dış sönümleyicilerde, bir kısmı da malzeme iç sönümüyle ısıya dönüşmektedir. Böylece motorun kritik hızlarda devamlı titreşimlerle zorlanan mili ısınır. Bu, milin iç sürtünmesinden dolayı meydana gelmektedir. Bu durumu, bilhassa yataklar dışında bulunan mil parçalarında görmek mümkündür. Deneyler göstermiştir ki, krank millerindeki histeresiz kayıpları, motordaki enerji kayıplarının % 10-15 'i olmaktadır. Ayrıca sönümlenme hassas ölçü aletlerinde gösterge yanlışlıklarına neden olmaktadır /33/.

4.2.2 Malzeme Sönümü

Dış enerji kaynağı olmadan hiçbir gerçek mekanik sistem, titreşim genliğini azalmadan sürdüremez. Malzeme sönümü kompleks fiziksel etkilere verilen bir isimdir ki, bu etkiler bir katı maddeye sahip titreşen bir mekanik sistemdeki kinetik ve deformasyon enerjisini ısıya çevirir /32/. Katı metalik malzemelerin içinde, dislokasyon hareketleri, tane sınır kaymaları gibi mekanizmalarla, plastik malzemelerde ise, nem absorpsiyonu, bağ dönmesi, termoelastik etki gibi mekanizmalarla iç enerji harcamı artar. Bu olaylar düşük deformasyon ve gerilim değerlerinde iç sürtünme, büyük deformasyon ve gerilim seviyelerinde ise, malzeme sönümü terimleriyle ifade edilir /6/.



Şekil 4.6 Çevrimsel gerilim altındaki malzemelerin tipik gerilim-deformasyon histeresiz çevrimi /32/

Çevrimsel gerilim altında çeşitli sönüm mekanizmaları şekil 4.6 da gösterildiği gibi bir gerilim-deformasyon histeresiz çevrimini oluşturur. Çeşitli inelastik ve anelastik mekanizmalar çevrimsel gerilim süresince faal olduğu için gerilim-deformasyon eğrisinin yüklenmemiş AB dalı, ilk yükleme dalı OPA'nın altına düşer. OPA ve AB eğrileri yalnızca mükemmel elastik malzemeler için kesişir. Çok düşük gerilim düzeylerinde bile böyle malzemelerle pratikte karşılaşılmaz. Bir çevrim süresince, birim hacim başına tüketilen sönümlenme enerjisi, gerilim limitleri $\pm \sigma_d$ yada deformasyon limitleri $\pm \epsilon_d$ arasında, ABCDA histeresiz çevriminin içinde kalan alana eşittir /32/.

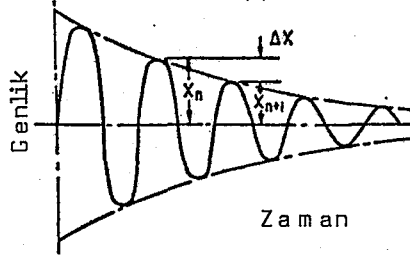
4.2.3 Malzeme Sönümünü Ölçme Metotları

4.2.3.1 Gerilim - Deformasyon Histeresiz Çevrimi

Şekil 4.6 da gösterilen histeresiz çevrimi, sönümlenme enerjisinin doğrudan ve kolayca bulunmasını sağlar. Ancak düşük gerilim düzeylerinde, sönümlenmeyi bulmak çok hassas aletler ister. Örneğin, krom çeliğinin 103 MPa'lık gerilim altında çevrim genişliği (DB), $2 \cdot 10^{-6}$ dan azdır. Böyle deformasyonların ölçümü için yüksek hız transducer'lerinin ve kayıt aletlerinin çok hassas olması gereklidir. Genellikle metaller için, bilhassa en yüksek gerilim, yorgunluk sınırının %60'ından az ise, çeki-bası gerilmesinde, sönümlenmeyi histeresiz çevrimi metodu ile ölçmek için çok uzun gauge uzunlukları gereklidir. Buna karşı burulma gerilimi altında, daha yüksek hassaslık mümkündür ve histeresiz çevrimi metodu düşük gerilimlerde uygulanabilir.

4.2.3.2 Titreşen Bir Numuneyi Kullanan Metotlar

Bu bölümde anlatılan sönüm ölçme metotlarında titreşen bir sistem kullanılır. Bu sistemde modelin bir ucu ankastre olarak sabitlenip, öteki ucu titremeye sebep olan bir kütleye bağlanabilir veya iki ucundan serbestçe desteklenmiş bir



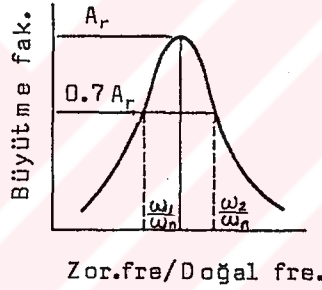
Şekil 4.7 Sönümlü serbest titreşimlerin tipik ölgünleşme eğrisi/32/

çubuk numune, titreşim sistemi olarak kullanılabilir. Herhangibir düzenlemede sönümlenme, sistemin gözlenen titreşim özelliklerinden hesaplanır/32/. Prosedürlerin ilkinde, sönümlü serbest titreşimin ölgünleşme eğrisi kullanılır. Sönümlenme ölçüm metotlarının en eskilerinden birisi, en son yıllara kadar en çok kullanılanıdır. Düşük gerilim etkileriyle ilgilenen fizikçilerce popülerdir. Bu teknikte genellikle kullanılan numune, alt ucuna tutturulmuş disk tarafından küçük bir açı ile döndürülmüş mildir. Moment serbest bırakılarak genlik-zaman koordinatında ölçümler alınır /34/.

Tipik titreşme ölgünleşmesi şekil 4.7 de gösterilmiştir. Genellikle kullanılan sönümlenme ölçüsü, logaritmik azalma, herhangi ardışık iki genliğin birbirine oranının doğal logaritmasıdır :

$$\Delta = \text{Ln} \frac{x_n}{x_{n+1}} \quad (4.15)$$

Son yıllarda logaritmik azalma, eğilme titreşimleriyle zorlanan konsol kiriş şeklindeki numunelerde genlik azalması ölçülerek tesbit edilmektedir /34/. Titreşim ölgünleşmesi testleri, çeşitli gerilim ve sıcaklık koşullarında, modeli serbest bırakıp titreşme ölgünleşmesini kaydetmek suretiyle kullanılabilir. Model desteklerinde ve akustik yayılma şeklindeki kayıpları en aza indirmek gereklidir /32/.



Şekil 4.8 Tipik bir rezonans eğrisi

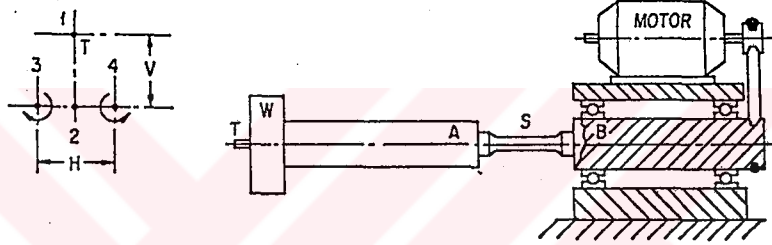
Titreşme modelleri prosedürlerinin ikincisinde, rezonans eğrilerindeki tepenin geniş olması daha yüksek sönümü belirtir düşüncesi kullanılır. Eğer uygulanan kuvvet sabit tutulup, uygulanan frekans değiştirilirse, genliğin ölçümüyle şekil 4.8 dekine benzer eğri elde edilir. Bu eğriden sönüm, $0,707 A_r$ 'lik bir büyütme faktörü altında, eğrinin genişliği ölçülerek hesaplanır. Bu büyütme faktöründen çizilen yatay bir doğru, rezonans eğrisini frekans oranlarının ω_1/ω_n ve ω_2/ω_n olduğu yerlerde kesiyorsa, sönüm :

$$\Delta = \pi \left(\frac{\omega_2}{\omega_n} - \frac{\omega_1}{\omega_n} \right) \quad (4.16)$$

olur. Bu prosüdüde, serbest ölgünleşme prosüdüdüründe olduğu gibi, yalnızca cevap genliğinin göreceli olarak ölçülmesi yeterlidir /32/.

4.2.3.3 Dönen Milde Yanal Sapma Metodu

Yanal sapma metodunun prensibi şekil 4.9 da görülmektedir. Eğer test numunesine (S), kol-ağırlık kombinasyonu (A-W) takılırsa, T ucu pozisyon 1 den 2 ye kayar. Kol-numune kombinasyonu , mil (B) tarafından döndürüldüğünde T ucu, dönme saat ibresi yönünde ise pozisyon 2 den 3'e , dönme saat ibresinin tersi yönünde ise, pozisyon 2'den 4'e yatay olarak hareket eder. Yatay olarak alınan yol (H), dönen sistem tarafından absorbe edilen toplam sönümün direkt ölçümünü verir.



Şekil 4.9 Dönen mil metodu ile sönüm ölçme prensibi /32/

Bu metodun avantajları; 1. Test değişkenleri, gerilim düzeyi ve frekans kolaylıkla ve bağımsız değişken olarak kontrol edilebilir. 2. Yüksek ve orta gerilim düzeyleri için tatmin edicidir. 3. Yalnızca sönüm değil, ayrıca yorulma ve elastikiyet özellikleri hakkında da bilgi verir. Dezavantajları ise; 1. Testler zaman alıcıdır. 2. Küçük yatay yerdeğiştirmeye bağlı olarak düşük gerilim düzeyleri için doğruluk şüphelidir /32/.

4.2.3.4 Yüksek Frekanslı Çarpma Metodu

Modelin ön yüzeyine verilen elastik çarpma serisi, arka yüzde yansır ve transducer tarafından geri alınır. Bu dalgaların hızları, modelin elastik sabitlerinin, ölgünleşme oranları da malzeme sönümünün ölçümünü sağlar. Bu teknik polimerlerin viskoelastik özelliklerini araştırmada geniş çalışma alanı bulmuştur /32/.

4.2.4 Temel Bağıntılar

Malzeme iç yapılarının sönümlenme özelliklerini belirtmede iki temel birim kullanılır: 1. Her çevrimde test numunesi veya makina elemanı iç yapısında harcanan enerji, 2. Bu enerjinin bir referans elastik enerjiye oranıdır.

Mutlak sönümlenme enerjisi birimleri ;

D_T : Numune yada elemanın iç yapısı tarafından her titreşim çevriminde harcanan toplam sönümlenme enerjisi (Nm/çevrim)

D_o : Ortalama sönümlenme enerjisi, ki bu enerji toplam sönümlenme enerjisinin, enerjiyi tüketen numunenin hacmine bölünerek bulunur, (Nm/m³/çevrim).

D_{sp} : Spesifik sönümlenme enerjisi; Numunenin bir noktasında her çevrimde ve numunenin birim hacmine düşen tüketilen iş, (Nm/m³/çevrim).

Mutlak sönümlenme enerjisi birimlerinden mühendislerin kullanımına en uygun olanı toplam sönümlenmedir. Eğer spesifik sönümlenme enerjisi, gerilmiş hacim boyunca integre edilirse;

$$D_T = \int_0^{V_0} D_{sp} dV \quad (4.17)$$

En çok kullanılan nispi sönümlenme enerjisi birimleri olarak; η : kayıp faktörü, ψ : Nominal sönüm, Δ : logaritmik azalma, D_s : Sönüm derecesi'ni sayabiliriz.

Bir titreşim çevriminde, makina parçasındaki kayıp enerjinin, parçada meydana gelen (depo edilen) şekil değişimi enerjisine ($W_{p,n}$) oranı nominal sönüm değeridir.

$$\psi_n = \frac{D_T}{W_{p,n}} \quad (4.18)$$

Bir titreşim çevrimindeki kayıp enerji :

$$D_T = W_{p,n} - W_{p,n+1} \quad (4.19)$$

$$W_{p,n} = \frac{1}{2} kx_n^2 \quad (4.20)$$

$$W_{p,n+1} = \frac{1}{2} kx_{n+1}^2 \quad (4.21)$$

olur. (4.18) eşitliğinde bilinen değerler yerine yazılırsa;

$$\psi_n = 1 - \frac{W_{p,n+1}}{W_{p,n}} \quad (4.22)$$

$$1 - \psi_n = \frac{W_{p,n+1}}{W_{p,n}} = \frac{x_{n+1}^2}{x_n^2} \quad (4.23)$$

$$\frac{W_{p,n}}{W_{p,n+1}} = \frac{1}{1 - \psi_n} = e^{2\Delta} \quad (4.24)$$

$$1 - \psi_n = e^{-2\Delta} = 1 + \frac{(-2\Delta)}{1} + \frac{(-2\Delta)^2}{2} + \dots \quad (4.25)$$

Δ 'nın küçük olması dolayısıyla yalnız ilk iki terimi hesaba katmak yeterlidir.

$$\psi_n = 2\Delta \quad (4.26)$$

Görülüyor ki nominal sönüm, belirli bir parçada logaritmik azalmayla elde edilir.

Kayıp faktörü :

$$\eta = \frac{D_T}{2\pi W_p} \quad (4.27)$$

denklemini ile hesaplanır. Eğer numune üniform gerilim dağılımına sahipse gerilme düzeyine bağlı olarak kayıp faktörü;

$$\eta = \frac{E D_0}{\pi G^2} \quad (4.28)$$

şeklinde formüle edilebilir.

Titreşimin diferansiyel denklemlerinde hesaplara nominal sönüm değeri yerine, sönüm derecesi konulmaktadır.

$$D_s = \frac{\Delta}{2\pi} = \frac{\psi_n}{4\pi} \quad (4.29)$$

BÖLÜM 5

TAKIM TEZGAHLARINDA TİTREŞİM, KONTROLU VE RİJİTLİK

5.1 Takım Tezgahlarının Tanımı ve Hassasiyet

İmalatın amacı, hammadde halinde bulunan herhangi bir malzemeyi, belirli bir şekle dönüştürmektir. İmalatın hedefi olan ürün, çeşitli üretim araçları ile gerçekleştirilir. Geniş bir anlamda tüm üretim araçlarına takım tezgahı denilebilir. Ancak dar bir anlamda, sadece metal, plastik, ahşap ve taş gibi malzemeleri işleyen ve bunlara belirli bir şekil veren üretim araçlarına takım tezgahı denir. Takım tezgahlarının en yaygın olanları metalik malzemeleri işleyen takım tezgahlarıdır. Takım tezgahı imalatçıları ve alıcıları için, mevcut teknolojik ve ekonomik koşulların getirdiği bazı kriterler mevcuttur. Bu kriterleri geniş bir talep çerçevesi içinde ele alırsak, başlıca beş ağırlık noktası ortaya çıkar :

1. Yüksek hassasiyet,
2. Yeterli dinamik davranış,
3. Gürültüsüz çalışma,
4. Yeterli garanti,
5. İleri derecede otomatize oluş.

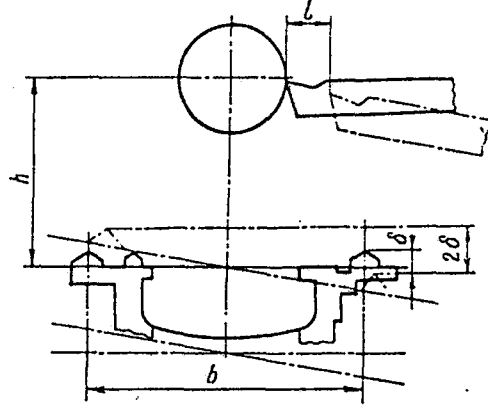
Bu kriterlerin belirttiği niteliklerde, son yıllarda büyük gelişmeler kaydedilmesine rağmen, halen yoğun araştırmalar sürdürülmektedir /35/. Takım tezgahlarında işlenen parçaların boyutları, yüzeyleri ve eksenleri önceden belirlenen toleranslar içinde üretilmelidir. İşleme kalitesini etkileyen faktörler, takım ile parça arasındaki ideal konumu etkilemekte ve işlenen parça üzerinde sapmalar oluşturmaktadır. Bu sapmaları oluşturan, yani işleme kalitesini etkileyen faktörler, takım tezgahına, tutturma sistemine, takım sistemine ve çalışmaya ait faktörler olarak dört grup altında incelenebilir.

a)- Takım Tezgahına ait hatalar :

1. Tezgahın kinematik mekanizmasındaki hatalar,
2. Ana mil ile kızak yüzeylerinin paralel olmaması,
3. Tezgahın tüm mekanizmaları ve yataklama sistemlerindeki boşlukların mevcudiyeti,
4. Gövde ve ana milin yeterli derecede rijit olmaması.

Bu faktörlerin işleme kalitesi üzerine etkisini bir örnek ile gösterirsek; şekil 5.1 de gösterilen bir torna tezgahı gövdesinin yeteri derecede rijit olmamasından do-

layı δ kadar bir şekil değıştirme olmuştur. Bu da işleme kalitesini etkileyecek şekilde takım - parça arasında $l = \delta h/b$ büyüklüğünde bir sapma meydana getirmiştir.



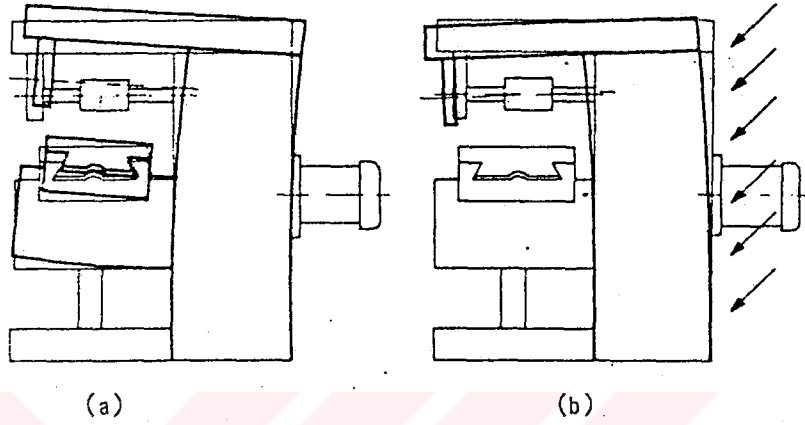
Şekil 5.1 Torna tezgahı banko kızak yollarının burulması /36/

- b)- Tutturma sistemine ait hatalar :
1. Ana elemanlardaki imalat hataları,
 2. Tertibatın yeteri kadar rijit olmaması,
 3. Ana elemanlarda oluşan aşınmalar.
- c)- Takım sistemine ait hatalar :
1. Takım konumunun hatalı olması,
 2. Kesme kuvvetlerinin etkisi ile şekil değıştirmelerin meydana gelmesi,
 3. Takımın aşınması.
- d)- Ortamın etkisi ile meydana gelen hatalar :
1. Sıcaklığın oluşturduğu şekil değıştirmeleri,
 2. Diğer makinalardan gelen titreşimler.

Şekil 5.2 de iç sıcaklığı ve çevre sıcaklığının etkisi altında bir freze tezgahının gövdesinde oluşan şekil değıştirmeleri gösterilmiştir.

Tezgahların değerlendirilmesinde en önemli kriterlerden birisi de tezgahın dinamik davranışdır. Bunun nedenlerini şöyle açıklayabiliriz : Birincisi, günümüz teknolojisinin gereği, mamullerin boyutlarında ve profillerin geometrisinde daha fazla hassasiyet aranması ve iş parçası yüzeylerinin daha düzgün olmasının istenmesidir. İkinci neden ise, modern tezgahlarda talaş kaldırma kapasitesinin gitgide artması ve daha yüksek kesme hızlarına imkan veren takımların üretime girme-

sidir. Öyle ki birçok talaş kaldırma işleminde, tezgah gücü yada paso mekanizmasının sınırlarından çok, **tartaklama** titreşim dediğimiz olay talaş kaldırma miktarını sınırlayan etken olmaktadır.



Şekil 5.2 Tezgah üzerinde sıcaklığın etkisi a) İç sıcaklık,
b) Çevre sıcaklığı

5.2 Takım Tezgahlarında Titreşim

Takım tezgahları pratiğinde titreşim problemi ile çeşitli safhalarda karşılaşmak mümkündür. Bunları ayrı ayrı irdelemeden önce şöyle bir sınıflandırma yapabiliriz : Birincisi, kendini besleyen titreşim olarak nitelendirilen tartaklama titreşimidir. Bunun dışında kalanlar, genellikle zorlanmış titreşim sınıfına girerler. Takım tezgahlarında zorlanmış titreşim olarak;

1. Kesme kuvvetleri tarafından meydana getirilen zorlanmış titreşimler,
2. Tezgahın diğer elemanları tarafından meydana getirilen zorlanmış titreşimler,

3. Tezgahın dışındaki kaynaklardan gelen zorlanmış titreşimlere rastlanır. Birinci şıkta belirtilen zorlanmış titreşimler, frezeleme ve broşlamada olduğu gibi, kesintili talaş kaldırma nedeniyle meydana gelebilir. Ayrıca iş parçası içerisindeki süreksizlikler nedeniyle, talaş kesitinin ve dolayısıyla kesme kuvvetinin değişmesi sonucu da zorlanmış titreşimler meydana gelebilir. Talaş kaldırma işleminin dışında, tezgah üzerinde titreşime yol açacak tahrik kuvvetlerini doğuran birçok kaynak vardır. Örneğin, dönen kütlelerdeki dengesizlikler, yataklardaki düzensizlikler, birer titreşim kaynağı olabilir.

Bunların dışında, tezgahı zeminden gelen titreşimler de etkiliyebilir. Tezgah civarındaki diğer makineler, örneğin presler, zımba tezgahları, nakil hatları, krenler de birer zorlayıcı kuvvet kaynağı olabilir. Buralardan gelen etkiler zemin vasıtasıyla tezgaha erişir ve onu titreştirebilir.

Takım tezgahlarında rastlanan bir başka temel titreşim tipi tartaklama titreşimidir. Bu tip titreşimin en belirgin özelliği kendini besleyen tipte bir titreşim olmasıdır. Belirli talaş kaldırma şartlarında, düşük kesme hızlarında ve paso derinliklerinde tartaklama titreşimine genellikle rastlanmaz. Bu gibi hallerde talaş kaldırma işlemi karardır. Özellikle paso derinliğinin belirli bir değerin üzerine çıkması ile çoğu kez tartaklama titreşim meydana gelir. Bu kararsızlık hali ile kararlı talaş kaldırma arasında kesin bir sınır vardır. Kendini besleyen tipte bir titreşim olarak nitelenen bu olayda, titreşimi besleyen enerji, talaş kaldırma işleminin içindedir. Tezgahta meydana gelen yüksek genlikli titreşim, şiddetli gürültü ve iş parçası yüzeyindeki takım izleri ile kendini hissettiren tartaklama titreşim esnasında, çoğu kez tezgah titreşimi periyodik hale gelmektedir /35/.

5.3 Titreşim Kontrolu

Hız ve hafif yapıya eğilimin arttığı günümüz teknolojisinde, makina ve tesislerin, titreşim etkileri gözönüne alınmadan projelendirilmesi mümkün değildir. Rezonansa çalışan bir makina elemanının bu titreşime uzun süre dayanması söz konusu olamayacağı gibi, bağlı olduğu zemin ve tesis açısından da problemin önemi büyüktür. Titreşimin bu zararlı etkilerinden korunmak için ilk çalışma, projelendirme sırasında yapılır. Ancak sisteme etkiyecek dinamik kuvvet ve momentler ile, makinaryı oluşturan parçaların sönümünü önceden tahmin edebilmek oldukça zordur. Bu sebeple esas çalışma, imalattan sonraki kontrol safhasında yapılmalıdır. Titreşim kontrol metodları üç grupta incelenebilir :

1. Titreşime sebep olan kaynağın kontrolu : Titreşim kontrolünde en etkili yöntem, titreşimi yaratan nedenlerin ortadan kaldırılması yada azaltılmasıdır. Titreşim açısından kaynak, genellikle dönen dengesiz kütleler yada hareketli parçalardır. Bu nedenle ; dengeleme, aşınan parçaların değiştirilmesi, tasarım değişikliği yaparak sarsma kuvveti yaratan parçalar yerine değişik bir sistem kullanılması, boşlukların azaltılması, bu amaca yönelik olarak yapılabileceklerin başlıcalarıdır.

2. İzolasyon : Titreşimi meydana getiren makinanın, kendisine olduğu kadar, çevresinde aynı zemine oturan makina ve cihazlarla, yapının tümüne de zararı vardır. Bu bakımdan titreşim kaynağı makina, zemine elastik bağlantılarla tesbit edilmelidir. Eğer bu mümkün değilse, hasar görebilecek hassas cihazları izole etmek gerekir.

3. Sistemin cevabını azaltmak : Zorlayıcı kuvvete karşı sistem cevabını azaltmak üç yolla mümkün olabilir;

a)- Tabii frekansların değiştirilmesi : Makina elemanlarının büyük ölçüde hasar görmesine neden olan rezonans olayı, zorlayıcı frekansın sistem tabii frekanslarından birine eşit olması sonucunda ortaya çıkar. Bu durumun önlenmesi için akla gelen ilk çare, işletme devir sayısını veya kuvvet ve momentlerini değiştirmektir. Belli imalat şartları, daima belli devir ve yük karakteristikleri gerektirdiğinden bu çözüm pratik değildir. Bu durumda ikaz frekansı sabit ise, sistem tabii frekansını değiştirmek gerekir. Bir vantilatör örnek alınır, kanatların dönmeden oluşan rezonansı, kanadı biraz rijitleştirerek engellenebilir. Bu işlem, hem tabii frekansını değiştirmek, hemde rijitlik artmasından ötürü genlikleri azaltmaktır. Ancak bu yol çoğu zaman konstrüksiyonun yeniden yapılmasını gerektirdiğinden her zaman ucuz ve basit değildir.

b)- Sönümün artırılması : Zorlayıcı frekansın sabit olmaması yada tabii frekansların birbirine yakın olması durumunda yukarıdaki metod fayda sağlamaz. Bu takdirde sistemin titreşim enerjisinin, viskoelastik elemanlarla yutulması yoluna gidilir. Örnek olarak, bir çamaşır makinasının dış muhafazası iç sönümlemesi yüksek bir malzeme ile kaplandığında, titreşim büyük ölçüde azalmaktadır.

c)- Yardımcı kütle sistemleri : Titreşim kontrolunda başka bir metod, titreşen esas sisteme bir yay vasıtasıyla yardımcı bir kütle eklemektir. Bu metod sayesinde uygun bir frekans ve kütle ayarı ile, hem ana sistemin tabii frekansı değişmekte, hemde titreşim genlikleri azalmaktadır. Bu tip yardımcı kütle-yay sistemleri, dinamik titreşim absorberi olarak adlandırılır. Esas sistemin sönümünü artırmanın zor olduğu durumlarda, enerji yutulmasını artırmak için bu kütle-yay sistemine sönüm elemanı da ilave edilebilir. Böylece oluşturulan sistemlere, yardımcı kütle damperi denilmektedir /37/.

5.4 Tezgah Gövdeleri

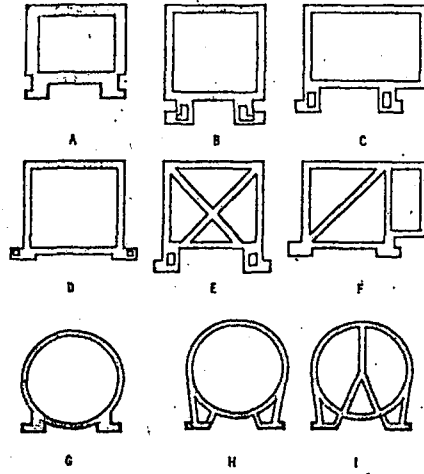
Tezgah tipine göre, tezgah gövdeleri birbirinden oldukça farklıdır. Ancak bir genelleme yapılırsa tezgahların gövdesi, banko ve kolonlardan meydana gelir.

Banko, tezgahın bulunduğu zemine göre yatay vaziyette bulunan; kolon, bu zemine göre, dikey vaziyette bulunan gövde kısmıdır. Buna göre bazı tezgahlar örneğin; torna, sadece bankodan, bazıları örneğin, freze sadece kolondan meydana gelir. Gövdeler umumiyetle dökme demirden, pres gövdeleri ise daha ziyade dökme çelikten yapılırlar. Bunlardan başka çelik saçtan kaynakla yapılan gövdelerde ehemmiyet kazanmaktadır. Çelik gövdeler, dökme demir gövdelere nazaran aynı şartlar altında %50 kadar bir hafiflik sağlarlar. Çünkü çeliğin elastiklik modülü $E = 2 \cdot 10^6 \text{ daN/cm}^2$ mertebesinde, adi dökme demirinki $E = 10^6 \text{ daN/cm}^2$ kadar ve alaşım ilaveli dökme demirinki ise $E = 1,15 - 1,4 \cdot 10^6 \text{ daN/cm}^2$ kadardır. Bununla beraber dökme demirin titreşimleri absorbe etme kabiliyetinin daha fazla olduğunu unutmamalıdır. Tezgah gövdelerinin umumiyetle dökme demirden dökülmesinin sebebi, oldukça yüksek mukavemet, bunların kolaylıkla işlenebilmesi, dökümle oldukça karışık şekillerin verilebilmesi, çeliğe nazaran döküm sıcaklığının çok daha düşük olması ve bilhassa yataklama özelliklerinin iyi olmasıdır. Tezgahlarda genellikle iki çeşit dökme demir kullanılır :

1. Sürtünen kısımlar için dökme demirler,
2. Sabit kısımlar için dökme demirler.

Bunlardan birincisinde aranan şartlar şunlardır : Elastiklik modülünün yüksek olması, sürtünme özelliklerinin iyi olması, kolay işlenme ve kusursuz döküm. Sabit kısımlar için kullanılan dökme demirlerde aranan özellikler ise, daha sınırlı olup, genellikle işlenme kabiliyetinin iyi olması ve yük altında daha az deformasyon yapması için elastiklik modülünün yüksek olmasıdır /38/.

Tezgah gövdeleri yüksek rijitliğe sahip hafif konstrüksiyon ilkesine göre dizayn edilir. Ancak malzeme seçiminde sönümlenme özelliği de dikkate alınır. Rijitlik/Ağırlık oranı üzerine yapılan teorik ve deneysel çalışmalara göre, bu bakımdan en uygun kesitin içi boş kesit olduğu anlaşılmıştır. Boş kesitler, eğilme ve burulma gibi zorlamalarda kesitteki gerilme dağılımını eşitlemekle beraber, aynı kesit alanı için, örneğin eğilmede, I eylemsizlik momentini ve W eğilme mukavemetini artırır. Ancak bu durumda elemanın dış boyutu da artar. Boş kesitli elemanların rijitliklerini artırmak için kaburgalarla desteklenir. Buna göre takım tezgahı gövdelerinin kesitleri şekil 5.3 teki gibi olur.



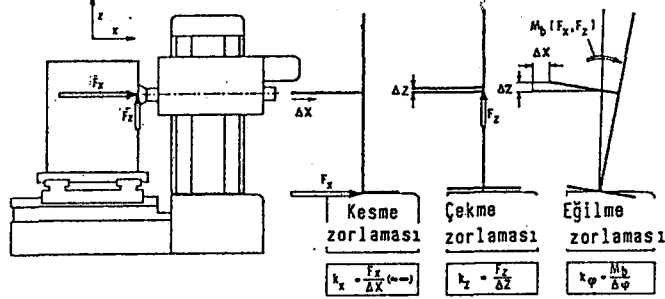
Şekil 5.3 Takım tezgahı gövdelerinin kesitleri /39/

Kaburgaların etkileri, kare bir kesit için, şekil 5.4 de verilmiştir. Görüldüğü gibi tüm çözümler, burulma rijitliği/ ağırlık oranını artırır. Ancak bazı çözümlerde, eğilme rijitliği/ağırlık oranında azalma olur.

Şekil	İzafi ağırlık $\frac{S}{S_0}$	İzafi eğilme rijid. k	İzafi burulma rijid. k_b	$\frac{k}{S_0}$	$\frac{k_b}{S_0}$	İzafi eğilme rijid k	İzafi burulma rijid k_b
Çok kalın cidarlar için							
1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2	1,10	1,10	1,63	1,00	1,48	1,15	1,18
3	1,05	1,09	1,39	1,04	1,32	1,10	1,10
4	1,14	1,08	2,04	0,95	1,79	1,16	1,21
5	1,38	1,17	2,16	0,85	1,56	1,29	1,40
6	1,49	1,78	3,69	1,20	3,07	1,30	1,46
7	1,26	1,55	2,94	1,23	2,39	1,19	1,24

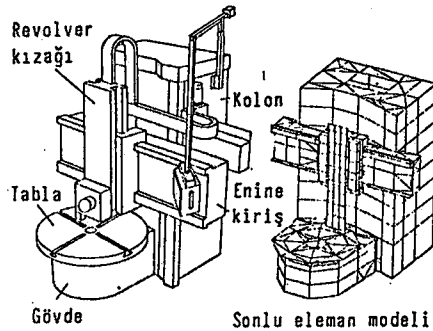
Şekil 5.4 Gövde üzerinde kaburgaların etkileri /39/

Eski bir yöntem olmakla beraber, uzun gövdeler veya tezgah kısımlarında kiriş elemanlarının kaburgalar ile birleştirilmesi halen kullanılan bir yöntemdir. Araştırmalar, çapraz kaburgaların dik kaburgalara nazaran gövdenin mukavemet ve rijitlik derecesini beş misli kadar artırdığını göstermiştir /38/.



Şekil 5.5 Tezgah gövdesinin basit bir modeli /39/

Gövdelerin konstrüksiyonunda, birbirine bağlı iki yol izlenebilir. Bir taraftan basit veya karışık modeller kurarak, sonlu elemanlar yöntemi de dahil olmak üzere, bu model üzerinde hesaplar yapılır. Diğer taraftan imal edilmiş gerçek bir tezgah üzerinde deneylerle, mukavemet , şekil değiştirme ve dinamik davranışı ile ilgili değerler tayin edilir ve daha önce model üzerinde alınan sonuçlarla karşılaştırılır. Bu karşılaştırmadan elde edilen sonuçlarla tezgah gövdesinde düzeltmeler yapılır. Şekil 5.5 de yatay freze tezgahının basitleştirilmiş bir modeli verilmiştir.



Şekil 5.6 Karusel torna tezgahı ve modeli /39/

Kolon; ankastre bir çubuk gibi F_x kuvveti tarafından kesmeye, F_z kuvveti tarafından çekmeye ve F_x ve F_z kuvvetleri tarafından eğilmeye zorlanır ve deformasyon, bilinen basit bağıntılar ile hesaplanır. Ancak bulunan sonuçlar gerçek değerlerden uzaktır. Günümüzde daha karışık ve gerçeği daha iyi yansıtan modeller kullanılır. Şekil 5.6 da karusel torna tezgahının sonlu elemanlar yöntemi için bir modeli gösterilmiştir /39/.

BÖLÜM 6

POLİMER BETONUN TEZGAH GÖVDELERİNDE KULLANIMI

Malzeme yokluğundan I.Dünya savaşı yıllarında, döküm ve sonraları kaynak konstrüksiyonlarına alternatif olarak çimento betonu uygulamaları farklı başa- rılarla denenmiştir. Termik stabilitesinin metalik malzemelerinkinden oldukça üs- tünde olması sebebiyle ilgi uyandıran çimento betonunun takım tezgahı gövdele- rinde kullanımı ile ciddiye alınabilecek bir ilerleme sağlandığı söylenemez. Uzun sertleşme süresi (yaklaşık 4 ay), sertleşme sırasında yüksek büzülme miktarı, sün- mesi, yağ ve nem hassasiyeti makina imalinde konstrüksiyon malzemesi olarak kullanımını büyük ölçüde engeller /40/. Schulz ve Nicklau'nun tezlerinde, polimer betonun çimento betonuna nazaran avantajlarına değinilmiş ve ilk olarak tezgah üretiminde polimer betonun çimento betonunun yerini dolduracağı savunulmuştur.

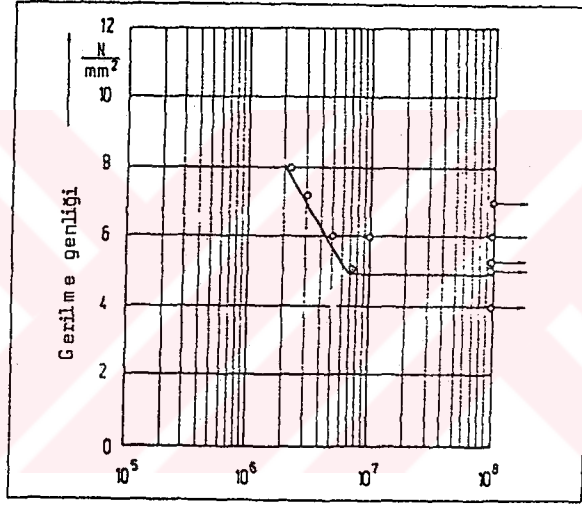
6.1 Polimer Beton

Polimer beton ikili malzeme sistemidir. Mineral dolgu malzemeleri ve re- aksiyon reçineden oluşur. Bu kompozit malzeme her iki malzemenin özelliklerini taşır ve dolgu malzemesinin tane dağılımından etkilenir. Dolgu malzemesi olarak genellikle 0-8 mm tane büyüklüğüne sahip yuvarlak kuvars kullanılır /40/. Her türden suni reçine, yük altında sürünme gösterdiğinden uzun seneler boyu yüksek hassasiyetle çalışması gereken makina parçasının üretiminde taş karışımının seçi- mi büyük önem taşır. Prensipten olarak makina gövdesine etki eden kuvvetleri bağ- layıcının değil, taşların taşınması sağlanmalıdır. Bu nedenle ve masrafların düşürül- mesi için bağlayıcı madde oranı düşük tutulmalıdır /16/. Prensipten olarak makina parçalarının polimer betondan üretiminde üç çeşit suni reçine kullanılır :

- Metakrilat reçinesi (MMA),
- Epoksi reçinesi (EP),
- Doymamış poliester reçinesi (UP).

Bugün hangi reçinenin en uygun olduğunu söylemek mümkün değildir /41/. Epoksi reçineli beton kütlelerinin diğer reçineli beton kütlelerine göre (3-4 defa) daha fazla bir sağlamlığı vardır ve zarar görülebilecek yerlerde üst yüzeye dökülebilir. Yüksek çeki-bası mukavemetinin yanında şekil değiştirmeleri de oldukça azdır. Ayrıca kimyasal çözücülere karşı yüksek dayanım gösterir /42/.

Yedek parça sanayiinde daha bol ve ucuz olan poliester reçinesinin kullanılmasına karşın makina üretiminde metakrilat reçineleri daha çok kullanılmaktadır. Çünkü bu reçineler hem daha az büzülüyor, hem de düşük viskozitelerinden dolayı dökümü daha iyi ve kolay yapıyor /14/. Makina parçalarındaki gerilmeleri azaltmak ve üretim hassasiyetini artırmak için büzülmesi az olan bağlayıcılar tercih edilmelidir. Reaksiyon reçine betonundan yapılan konstrüksiyon elemanları, malzemenin düşük mukavemet değerleri göstermesi nedeniyle çok kesin hesaplamalar gereklidir. Rijitlik için ayrı bir düzeltme gerekmiyor, çünkü mukavemet için yapılan uygun seçimle (tane büyüklüğü dağılımı, reçine tipi) otomatik olarak rijitlik sağlanmaktadır /43/.

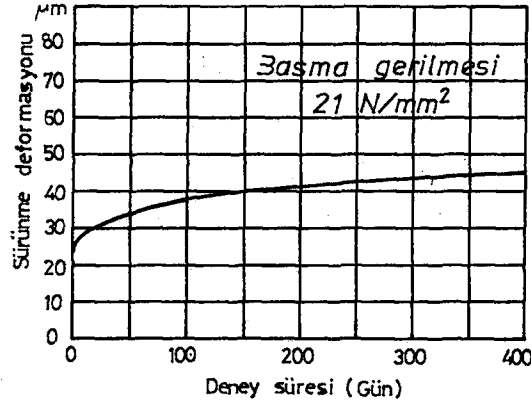


Şekil 6.1 Polimer betonun eğilme mukavemeti /40/

6.2 Polimer Betonun Tanım Değerleri

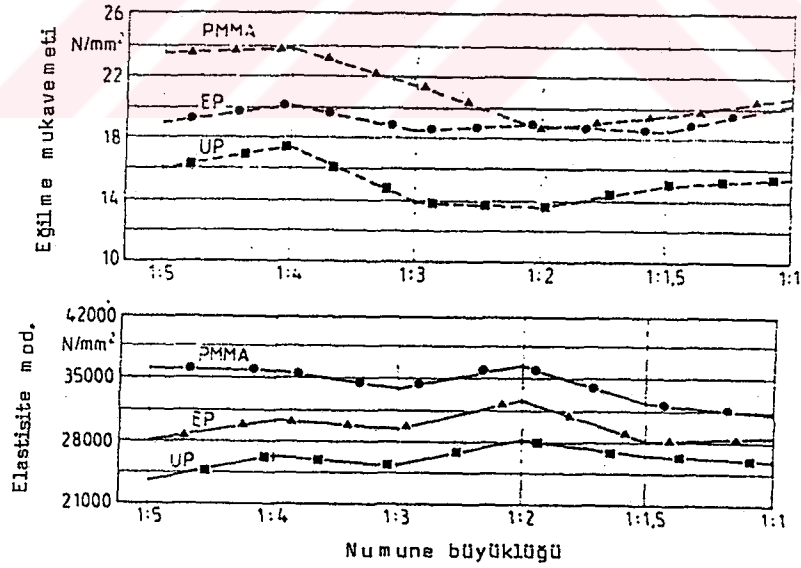
Makina imalatçısı, elastisite modülü, basma ve çekme mukavemeti gibi malzeme tanım değerlerini heran önünde bulmaya çalışmıştır. Polimer betonda ise durum böyle değildir. Malzeme tanım değerleri, polimer betonu meydana getiren malzemelerin miktar ve özelliklerine bağlı olmasının yanında zaman ve sıcaklık ile de büyük değişim gösterir. Takım tezgahlarından daha yüksek verimler ile ilgili talepleri olan kullanıcıyı, tezgahın yüksek statik mukavemet değerlerinden önce, uzun süreli kullanım ve dinamik durum ilgilendirir. Uzun süreli dinamik yüklemelerde mukavemet değerlerini wöhler eğrisi verir. Epoksi reçineden (ağırlık oranı % 7) yapılmış polimer betonun wöhler eğrisi şekil 6.1 de verilmiştir /40/.

Konstrüktörleri, malzemelerin mukavemet değerlerinin yanında uzun zaman süresince, yük altındaki sürünme davranışı da ilgilendirir. Şekil 6.2 de metilmetakrilat reçineli betonun sürünme davranışı verilmiştir /43/.



Şekil 6.2 Metakrilat reçineli betonun sürünme davranışı /43/

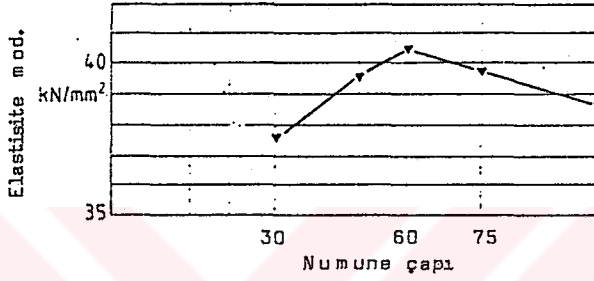
Gerçek bir yapı malzemesinde örneğin, bir tezgah gövdesi üzerinde ölçüm yapmak, gövdenin yüksek maliyeti, ölçümlerin zor ve uzun zaman gerektirmesi sebebiyle masrafları artırır. Esas itibariyle deneyleri, gerçek sisteme benzer ola-



Şekil 6.3 Eğilme mukavemeti ve elastisite modülünün numune büyüklüğü ile değişimi /29/

rak küçültülmüş maketlerde yapmak ve bunu takiben ölçüm değerlerine gerçek sisteme aktarmak daha uygundur. Dökme demirden yapılmış makina tezgahlarında benzerlik mekaniğinin tatbiki daha önce başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Poli-

mer betonda da bu uygulamayı yapabilmek için malzeme sabit değerleri geometrik basamaklı basit deney numunelerinden tesbit edilmelidir. Elde edilen bu sonuçlar benzerlik yasalarının esasını oluşturur. Eğilme gerilmesine zorlanan, kesiti 150*150 mm den başlayarak geometrik olarak azalan, (üç farklı reçine tipi için) numunelerden elde edilen elastisite modülü ve eğilme mukavemeti değerleri şekilde sunulmuştur. Deney sonuçları incelendiğinde malzeme tanım değerlerinin deney numunesi büyüklüğüne bağımlılığının mevcut olmadığı görülür /29/.



Şekil 6.4 Metakrilat reçineli beton numunelerinde elastisite modülü /29/

Burulmaya zorlanan metakrilat reçineli ve çapı 30 mm ila 100 mm arasında değişen numunelerin elastisite modülü değerleri şekil 6.4 de verilmiştir. 60mm çaplı numunede elastisite modülü en büyük değerini aldığı görülmektedir. Şekil 6.3 ve şekil 6.4 birlikte incelendiğinde elastisite modülünün, zorlamanın türüne bağımlı olduğu kendini gösterir.

6.3 Konstrüksiyon Prensipleri

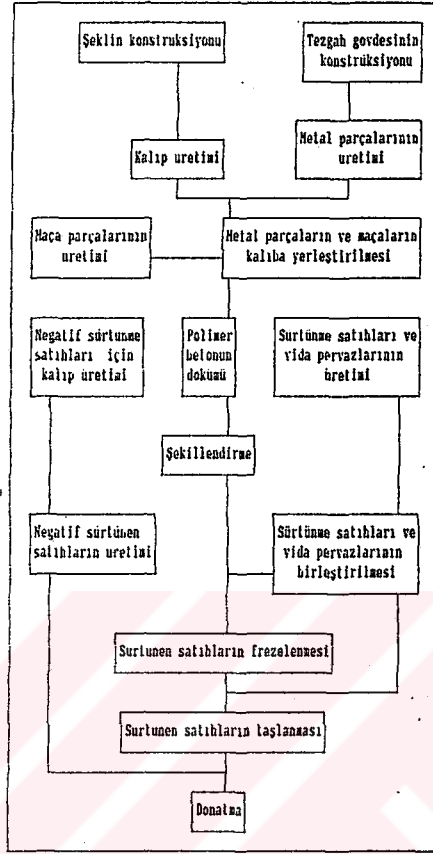
İlerleyen otomatikleşme ve hassasiyet talebindeki artışın yanında kesme takım malzemelerindeki gelişmeler, takım tezgahlarından beklentileri de artırmaktadır. Giderek artan kesme hızları ve tezgah gücü, makina gövdesi için daha yüksek statik ve dinamik rijitlik gerektirmektedir. Bu gereksinim, sadece malzeme yönünden bakıldığında, şimdiye kadar kullanılan döküm ve çelik kaynak konstrüksiyonlarının yerine uygun bir konstrüktif şekil verilerek polimer betonun kullanılmasıyla karşılanabilir. Polimer beton gövde ile kusursuz ve hassas çalışması istenen işleme makinalarında bağlantı ve kuvvet iletme elemanlarının iyi yapılması gerekir. Bunun yanısıra temel prensip olarak döküldükten sonra montaja hazır parça durumuna gelinceye kadar, mümkün olduğunca az işlem gerektirmesine çalışıl-

malıdır. Polimer beton parçaların tesbiti daha konstrüksiyon safhasında düşünülme-
lidir. Çünkü sonradan üzerindeki bir işlem, ancak taşla yada beton işleme makina-
larıyla mümkündür. Sadece PMMA betonunda ilave bölgelerin dökümü ile bağlantı
sağlanabilmektedir. Modern teknolojinin kullanılmasıyla kalıptan çıktıktan sonra
ya çok ender ya da hiçbir işlem gerekmeyecek şekilde üretim yapılabilir. Polimer
betondan makina parçaları üretmek döküm veya çelik kaynak konstrüksiyonlarıyla
üretmekten daha kolaydır. Çünkü pahalı kaburgalar yerine daha basit olarak tama-
men dolu kesitler kullanılmaktadır /41/.

Tezgah gövdelerinde yüksek rijitlik elde etmek için yüksek bir elastisite
modülü ve büyük bir yüzey atalet momentine ulaşılması gerekir. Betonda ulaşılan
elastisite modülü dökme demirden daha küçük olduğundan, bu durum duvarların
daha kalın tutulmasıyla telafi edilebilir. Buna rağmen dökme demir yerine aynı
mukavemette duvar için daha hafif polimer beton kullanılması ilgi çekicidir /42/.
Yüksek mukavemet beklenen yapı parçaları 60-80 mm arasında bir et kalınlığında
yapılmalıdır. Metal yığılmalarına dikkat edilmediğinden yükleme bakımından kri-
tik olan yerler istenildiği kadar desteklenebilir /40/. Polimer beton üretimi yapan
kontinü döküm makinaları, büyük makina parçalarının ekonomik olarak üretilmesi-
ni sağlamaktadır. Dökme demirin aksine polimer beton, dikkate değer az masraf
ile soğuk işlenmektedir. Teknolojik olanakları mantıklı kullanmak suretiyle döküm-
den sonra bir daha aynı oranda bir işçilik kullanılmaz. Şekil 6.5 de gövdenin biti-
mine kadar olan gelişim aşamaları gösterilmiştir.

Şekil 6.6 , takım tezgahı imalatçılarının daima gözönünde bulundurduğu
farklı kaburga tiplerine sahip kesitin, eğilme ve burulma rijitliğinin değişimini
göstermektedir.

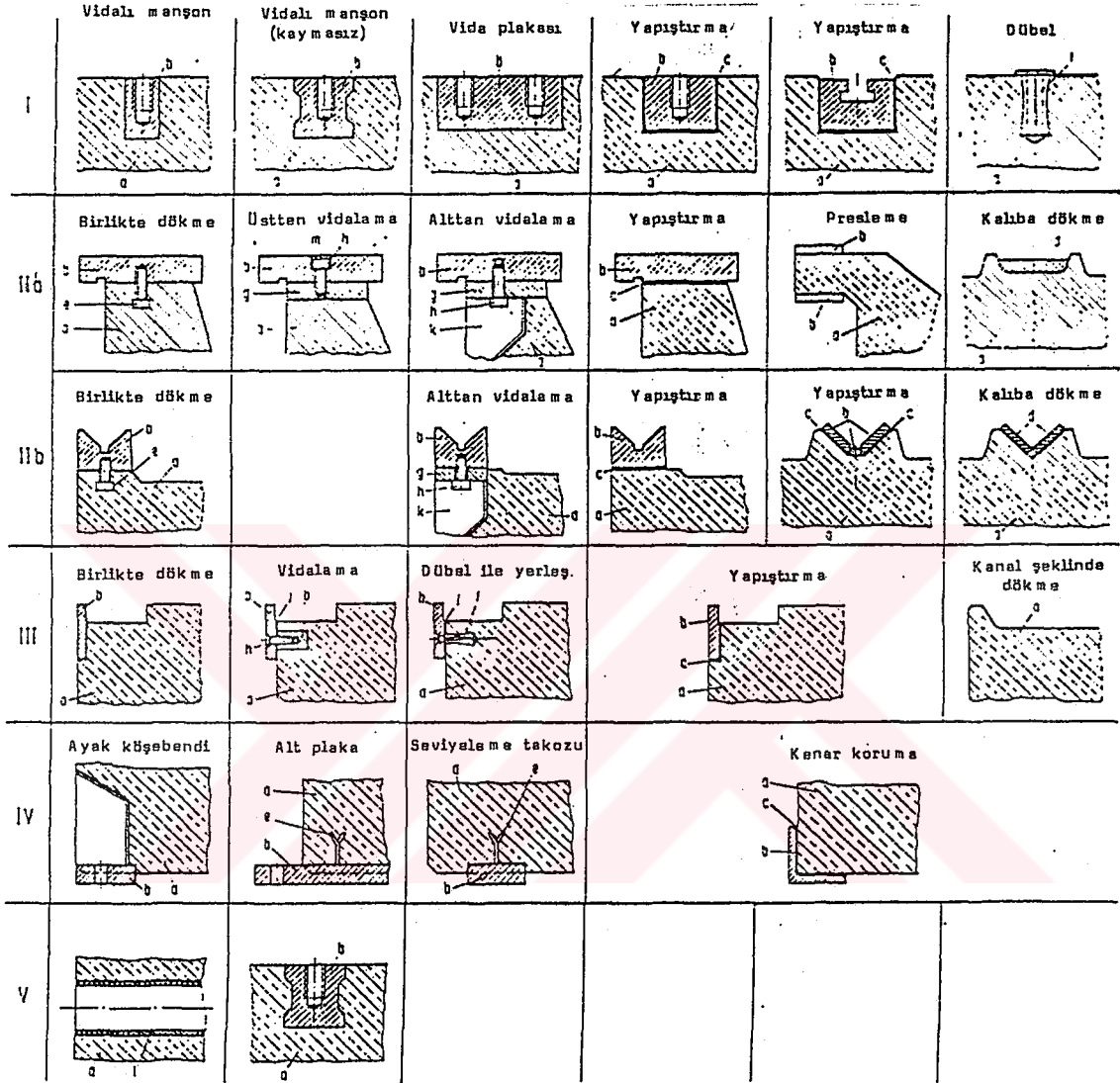
Makina üretiminde önemli bir nokta da reçine betonların çeliğe veya dök-
me demire güçlü bir yapışma özelliği göstermeleridir ki bu sayede problemsiz
bir şekilde entegre edilebilirler /42/. Tezgah gövdesi üzerine diğer elemanları bağ-
lamak için kullanılan vidalama elemanlarında ve sürtünen yüzeylerde, polimer be-
tonun karşılayamayacağı kadar yüksek yüzey basıncı meydana gelir. Bu nedenle
bazı elemanların metal olması zorunludur. Bu elemanların, polimer beton ile bağ-
lantısı çeşitli şekillerde yapılabilir. Şekil 6.7 de polimer betondan oluşan takım
tezgahı gövdelerinde konstrüktif ayrıntılar gösterilmiştir /10/.



Şekil 6.5 Takım tezgahı gövdelerinin polimer betondan üretim şeması /10/

Malzeme	Deneme şekilleri	Eğ. rijit.	Bur. rijit.	Ağırlık
GG-20		1,00	1,00	1,00
		1,10	1,63	1,10
		1,09	1,39	1,05
		1,08	2,04	1,14
		1,17	2,16	1,38
		1,78	3,69	1,43
		1,55	2,94	1,26
Polimer beton		1,00	1,00	1,45

Şekil 6.6 Dökme demir ve polimer beton için eğilme ve burulma rijitliği/10/

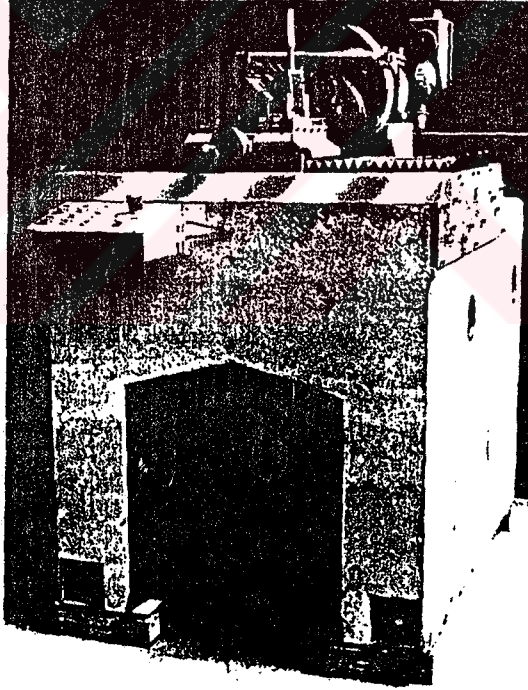


Şekil 6.7 Polimer betondan imal edilen takım tezgahlarında, parçaların detaylı dizaynı /10/

I. Bağlama elemanlarının dizaynı, IIa. Düz yatakların dizaynı, IIb. V yataklarının dizaynı, III. Soğutma kanalları, IV. Gövdelerin dizaynı, V. Gövdelere ait kaldırma elemanlarının dizaynı. a) Polimer beton, b) Metal kısımlar, c) Yapıştırıcı, d) Plastik, e) Bağlantı elemanları, f) Döbel, g) Bağlamada kullanılan yardımcı metaller, h) Cıvata, i) Dolgu malzemesi, k) Montaj kolaylığı sağlayan oyuk, l) Plastik boru, m) Tıkaç

6.4 Tezgah Gövdelerinin Polimer Betondan İmali İçin Isıl İşlem

Tezgah gövdelerinde üretim esnasında oluşan iç gerilmelerin ve sonradan oluşabilecek ölçü değişikliklerinin(deformasyonların) engellenmesi istenir. Bu patent yukarıdaki isteklerin sağlanması için makina parçalarının polimer betondan imali sırasında veya imalinden sonra uygulanan ısıl işlem ile ilgilidir. Makina parçaları özellikle polimer betondan tezgah gövdelerinin bir döküm kalıbında imali sırasında (henüz ekzoterm reaksiyonun olması sırasında veya reaksiyondan sonra) örneğin ısıtılabilir bir dökme kalıbı ile veya katılaşmanın normal seyrinden sonra kalıptan alınarak ısıtılır. Belli sıcaklıkta tutulduktan sonra kontrollü olarak soğutulur. Makina parçası 60°C lik veya ortam sıcaklığının 40°C üzerindeki bir sıcaklıkta altı saat tutulur. Isıtma $2-10^{\circ}\text{C/h}$ lik, soğutma ise $1-5^{\circ}\text{C/h}$ lik bir ısı farkıyla kontrollü olarak yapılır /44/.

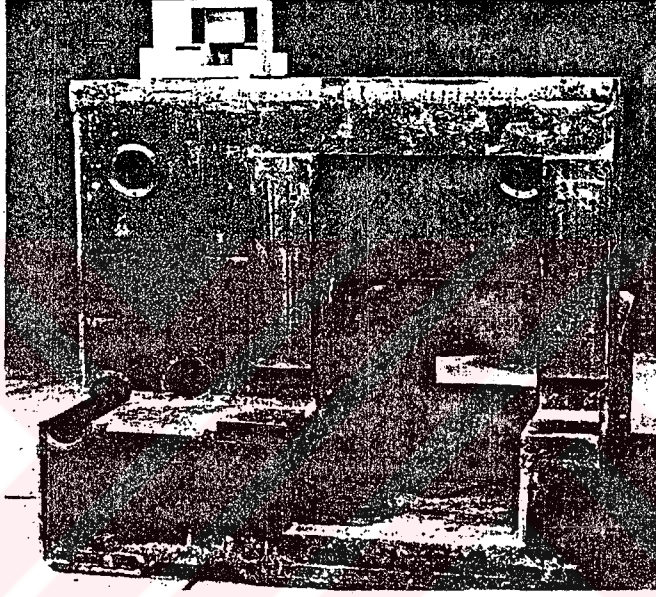


Şekil 6.8 Polimer betondan yapılan bir taşlama tezgahı /41/

6.5 Polimer Betonun Tezgah Gövdelerinde Uygulamaları

Avrupa'da, polimer betonun tezgah gövdelerinde kullanımı araştırmaları, İsviçre'nin Studer AG ve Kasto firmalarıyla sınırlıydı. Japonlar polimer betonu daha uzun bir süredir kullanıyorlardı. ABD'deki makina üreticileri de yeni yeni

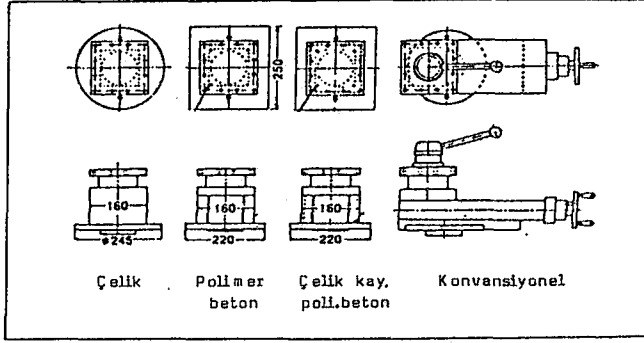
kullanmaya başlamışlardır. 1978 senesinden bu yana da Darmstadt Teknik Yüksek Okulunda Prof.Schulz yönetiminde çelik ve dökme demir yerine polimer betonu kullanım çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmalarda üretilen bir taşlama makinası şekil 6.8 de gösterilmiştir. Teknik okulun çalışmalarına en son örnek şanzıman test tezgahının dökülmesidir. Şanzımanlardaki dişlilerin birbirine geçişlerinde kuvvetli titreşimler ortaya çıktığından, malzeme olarak polimer beton, az titreşimli tezgah için çok uygun bir malzeme olduğu belirlenmiştir (şekil 6.9).



Şekil 6.9 Polimer betondan dişli kutusu deneme tezgahı /41/

Son yıllarda Japonya'da çeşitli araştırma enstitüleri tarafından polimer betonun, işleme makinalarında konstrüksiyon malzemesi olarak kullanılması için temel bilgiler ve uygulama araştırmaları yapılmaktadır.

Kobe Üniversitesinde bir torna tezgahının konvansiyonel sportunun yerine üç ayrı sport test edilmiş ve statik, dinamik sağlamlıkları konvansiyonel sportla kıyaslanmıştır. Sportlardan birincisi çelik bloktan işlenmiştir. İkinci sport epoksi reçinesi kullanılarak polimer betondan üretilmiştir. Üçüncü sportun ana gövdesi 8 mm kalınlığındaki çelik levhalardan kaynak edilerek birleştirilmiş ve içi polimer beton (epoksi reçineli) ile doldurulmuştur (şekil 6.10).

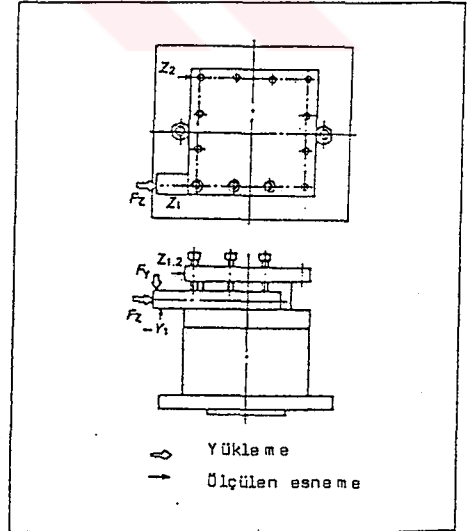


Şekil 6.10 Test edilen sportların şematik gösterilişi /20/

Sportların statik rijitliği, statik kuvvetlerin uygulanması ve sportların uçundaki deformasyonların ölçülmesiyle tesbit edilmiştir. Sportların statik rijitliklerinin ölçümü ve sonuçları şekil 6.11 ve çizelge 6.1 de verilmiştir. Polimer betonla yapılan sportların sağlamlığı, çelik sportların ki kadar olmasada konvansiyonel sportlardan fazladır.

Çizelge 6.1 Test edilen sportların rijitliği/20/

Sport \ rijitlik çesidi \ ($\mu\text{m}/\text{N}$)	Eksenel yön		Radyal yön	
	$z1/Fz$	$z2/Fz$	$Y1/Fy$	$Z1/Fy$
Çelik	0.012	0.012	0.010	-0.006
Polimer beton	0.018	0.014	0.013	-0.010
Polimer betonla doldurulmuş çelik	0.014	0.013	0.012	-0.008
Konvansiyonel	0.026	0.024	0.019	-0.010



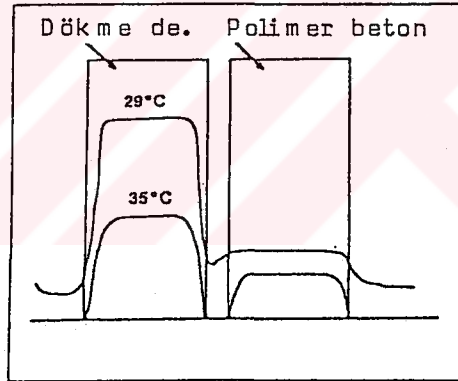
Şekil 6.11 Sportun statik rijitliğinin ölçümü /20/

Ni,Cr,Mo alaşımlı çelik takımlarla yapılan tornalamada takımın kırılmadan kesebilme uzunluğu çizelge 6.2 de farklı spotlar için verilmiştir. Polimer beton sportu en fazla takım dayanım süresi göstermektedir.

Çizelge 6.2 Test edilen sportlardaki takımın, kırılmadan kesme uzunlukları /20/

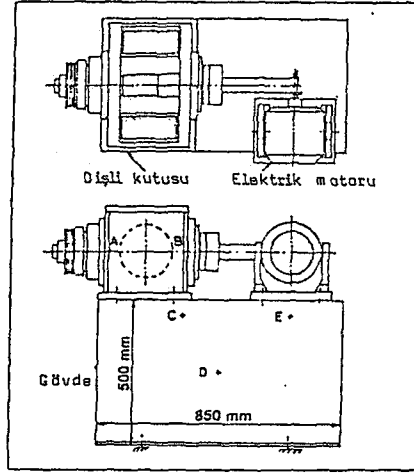
Sport çeşidi	Ortalama aksenal uzunluk (mm)	Standart sapma (mm)
Çelik	15.2	10.9
Polimer beton	120.2	45.0
Polimer betonla doldurulmuş çelik	16.4	13.9
Konvansiyonel	109.6	78.4

Technical Research Institute of Japan Society for Promotion of Machine Industry (JSPMI) tarafından bir alın taşlama tezgahı geliştirilmiştir. Bu makina Toyada Machine Tools Co. ile yapılan işbirliği sonucu üretilmiştir. Bu firma, Japonyada, konvansiyonel taşlama tezgahı üreten firmaların önde gelenlerinden bi-



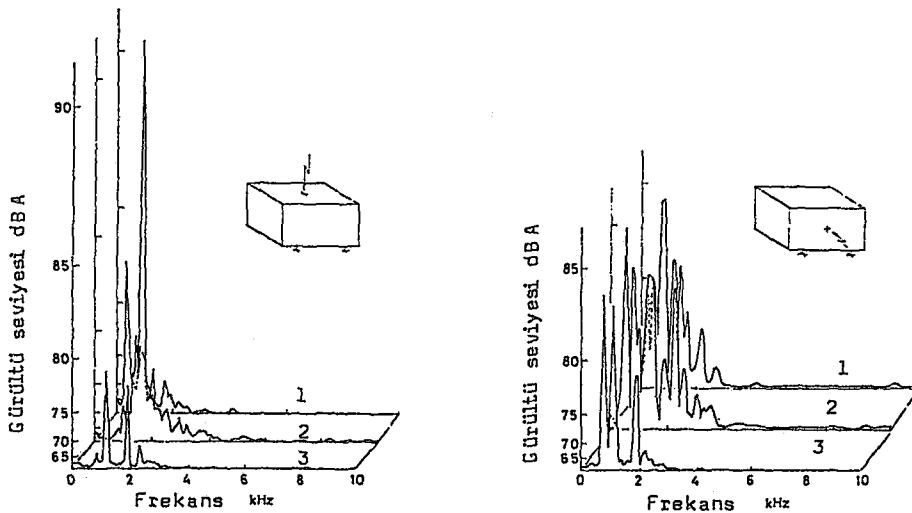
Şekil 6.12 Dökme demir ve epoksi reçineli betonun ısı iletimi /20/
(Isı kaynağı kapatıldıktan 20 dak. sonra)

ridir. Bu geliştirmenin asıl amacı işleme makinası gürültüsünün azaltılmasıdır. Bu makina 320 mm'ye kadar çapı ve 500 mm'ye kadar uzunluğu olan parçaları işleyebilmektedir. JSPMI ve Toyada, tezgah gövdesi için geliştirilen epoksi reçineli betonu kullanmışlar ve tezgahı termik, dinamik özelliklerine test etmişlerdir. Şekil 6.12 de polimer beton ve dökme demirden yapılmış tezgah gövdelerinin termik iletkenliği görülmektedir. Ayrıca taşlama tezgahının dinamik karakteristiklerinin polimer beton gövde kullanımı ile önemli ölçüde düzeldiği görülmüştür. Yeni makinanın ses şiddeti, normal çalışma şartlarında, dökme demirden olan makinalara göre yaklaşık 3 dB(A) kadar az olduğu ölçülmüştür /20/.



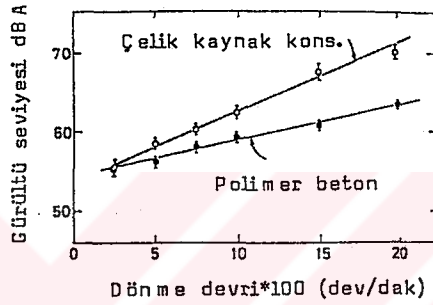
Şekil 6.13 Torna tezgah modeli /45/

Tokyo Institute of Technology enstitüsünde bir torna tezgahında, gövde yapısının titreşim ve ses oluşumuna olan etkisi araştırılmıştır. Deneylerde üç tip gövde kullanılmıştır: 1. Kaynakla birleştirilmiş çelik gövde (duvar kalınlığı 16 mm), 2. Çimento betonu ile doldurulmuş kaynaklı çelik gövde, 3. 150 mm duvar kalınlığında polimer beton gövde. Burada kullanılan modelin şematik resmi şekil 6.13 de gösterilmiştir.



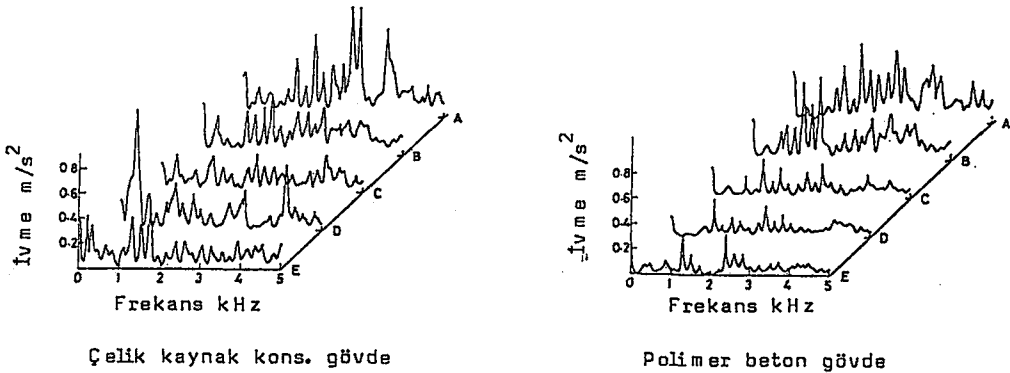
Şekil 6.14 Torna gövdesinin gürültü spektrumu /45/

Torna tezgahı modeli, bir gövde ve bir dişli kutusundan meydana gelmiş basit bir modeldir. Şekil 6.13 de gösterilen gövdenin ön yüzeyindeki D noktasına ve üst yüzeyin merkezine küresel yüzeyli bir çelik çekiç ile vurulduktan sonra oluşan gürültü sesi, bu yüzeylere 100 mm uzaklıktaki bir noktaya yerleştirilen mikrofon tarafından algılanmıştır. Gürültü spektrumu şekil 6.14 de verilmiştir. Bu deney sonuçlarına göre, kaynaklı çelik gövde bu üç gövde arasında en yüksek gürültü spektrumuna, polimer beton gövde ise en düşük gürültü spektrumuna sahiptir. Ayrıca yatağın betonla doldurulması gürültüyü azaltmaktadır.

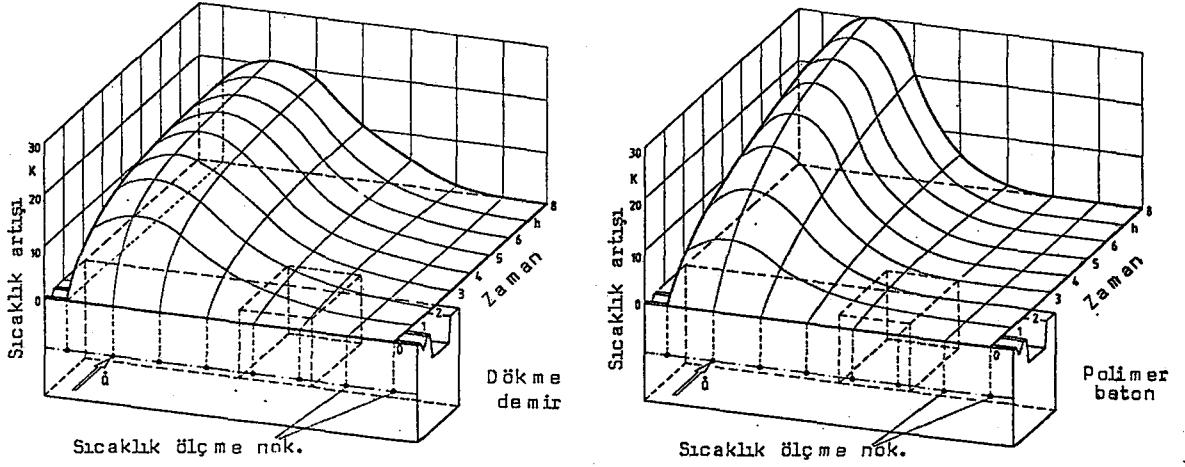


Şekil 6.15 Gürültü seviyelerinin karşılaştırılması /45/

Dinamik performans testlerinden biri de, makina tezgahlarının çalışması esnasında oluşan gürültü seviyelerinin karşılaştırılmasıdır. Gürültü seviyesi, aynı tezgahlar üzerinde, gövdenin ön yüzeyinden 1 m uzaklıkta, çeşitli devirlerde ölçülmüştür. Şekil 6.15 de verilen deney sonuçlarına göre devir sayısının artmasıyla gürültü seviyesinde de artma görülmekte, bu artış çelik kaynak konstrüksiyonunda daha fazla olmaktadır.

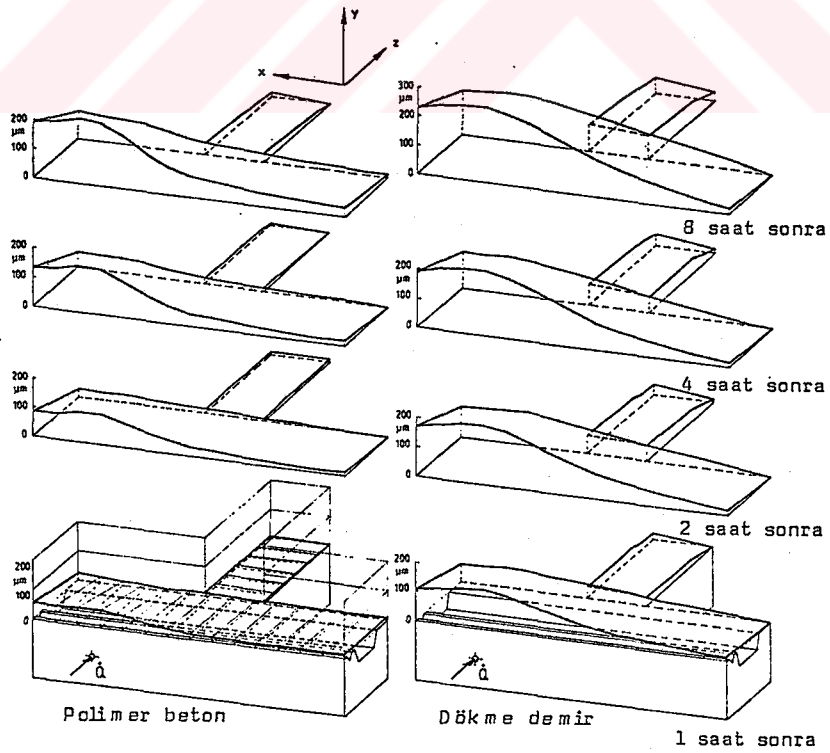


Şekil 6.16 Torna gövdesinde ivme spektrumu /45/



Şekil 6.17 Tezgah ayaklarında sıcaklık artışı /46/

Torna modelinin A,B,C,D,E ölçüm noktalarındaki titreşim, ivme ölçer ile algılanmıştır. Başta C,D,E noktalarında olmak üzere ivme değerleri polimer betonda daha düşüktür.



Şekil 6.18 Tezgah ayaklarında ısıl deformasyon /46/

Takriben eşit ölçülerdeki biri dökme demir, diğeri polimer betondan imal edilmiş yüzey taşlama tezgahı ayaklarının, ısı tesiri altındaki durumunu mukayeseli olarak inceleyen Salje ve Gerloff'un elde ettiği sonuçlar şekil 6.17 de verilmiştir. Maksimum sıcaklığın, yani ısı verilen noktadaki sıcaklığın değişimine bakıldığında ilk 2,5 saat içinde polimer betonun sıcaklığı dökme demirden daha düşük kaldığı, 2,5 saatten sonra ise sıcaklığın daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca maksimum sıcaklık değerine dökme demirde üç saat sonra (sıcaklık artışı 20°K), polimer betonda ise 8 saat sonra (sıcaklık artışı 33°K) ulaşılmaktadır. Bunun nedeni, polimer betonun kötü ısı iletkenliğidir. Aynı tezgah ayaklarındaki ısıl deformasyon şekil 6.18 de gösterildiği gibi dökme demirde daha fazla olmaktadır /46/.

BÖLÜM 7

KULLANILAN POLİMER BETONDA PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ

Takım tezgahı gövdesi imalatı için deneylerde kullanılacak polimer betonu meydana getiren elemanlar, bu bölümde açıklanan ön deney çalışmaları ile tesbit edilmiştir.

7.1 Reçine Seçimi

Reçine olarak poliester, diğer reçine türlerine göre fiyatının daha düşük olması sebebiyle tercih edilmiştir. Piyasada pek çok poliester tipi mevcuttur. Bu poliester tiplerinden, ticari adı izoftalik poliester (IE) olan doymamış poliester reçinesi, amacımıza uygunluğu nedeniyle seçilmiştir. İzoftalik poliesterden yapılan polimer beton, sert, rijit ve mekanik mukavemeti yüksek olmaktadır. Ancak çok kalın blok dökümlerde iç gerilmeler nedeniyle çatlama riski vardır.

7.2 Dolgu Malzemesi Seçimi

Kuvars, yüksek sertliği nedeniyle yapımında kullanıldığı polimer betona yüksek mukavemet ve rijitlik kazandırması sebebiyle tercih edilmiştir. SiO_2 bileşimli kuvars, yerküre kabuğunda feldspat'tan sonra en bol bulunan mineraldir. Kuvarsit gibi bazı kum taşları hemen hemen % 100 kuvars yapılıdır. Çok değişik renkler almakla birlikte ekseriya beyaz renkte olan kuvarsın, kristalleri hegzagonal yapıdadır. Sertlik derecesi 7, özgül ağırlığı $2,6 \text{ gr/cm}^3$ dir.

7.2.1 En Büyük Tane Boyutunun Tesbiti

Takım tezgahı gövdesi imalatında düşündüğümüz polimer beton, geleneksel olarak kullanılan dökme demire oranla çok daha hafif, bir yapı malzemesidir. Oysa , her iki malzemedeki dökülmüş olan gövdelerde, yapılacak deneylerden elde edilen sonuçların birbiriyle kıyaslanabilmesi için benzer geometrisinin yanında ağırlıklarında yaklaşık değerlerde olması gerekir. Bu sebeple polimer betondan yapacağımız gövdenin duvar kalınlığının dökme demirden yapılan gövdenin duvar kalınlığından, özgül ağırlıkların oranı nisbetinde, 3-4 kez daha fazla alınması uy-

gun olacaktır. Bu sonuca göre, kıyaslayacağımız dökme demirden yapılı tezgah gövdesi gözönünde tutularak, gövdemizin et kalınlığı 6 cm olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu et kalınlığından sonra, TS 802'ye göre, en büyük tane boyutu 6 mm olarak tesbit edildi. Beton (çimento) oluşturacak agrega'nın (dolgu malzemesi) TS 802 'ye uygun olarak tayin edilen en büyük tane boyutu, betonun kullanılacağı yapı elemanının cins ve en dar kesitinin boyutu ile ilişkilidir. En büyük tane boyutu, en dar kalıp genişliğinin 1/5'inden , döşeme derinliğinin 1/3'ünden küçük seçilmelidir.

7.2.2 Tane Büyüklüğü Dağılımının Tesbiti

En büyük tane boyutunu 6 mm olarak belirledikten sonraki problemimiz, izofoalik poliester tipi ve bu maksimum tane büyüklüğü ile yapacağımız polimer betonda, dolgu malzemesi kuvarsın hangi tane büyüklüğü dağılımına sahip olması gerektiridir. Bu sorunun cevabını, polimer betonu yapı malzemesi olarak kullanmayı tasarladığımız takım tezgahı gövdesinden beklentilerimiz belirlemektedir. Bir takım tezgahı gövdesinde, mukavemet, rijitlik ve sönümlenme değerlerinin yüksek olması istenir. Rijitlik, malzemeye bağlı olmasına rağmen, büyük ölçüde de konstrüktif özelliklere bağlıdır. Sözü edilen diğer büyüklükler ise, birer malzeme özelliğidir. O halde bu özelliklerin tane büyüklüğü dağılımı ile nasıl değiştiği araştırılmalıdır. Bu sebeple polimer betonun basma mukavemeti, elastisite modülü ve logaritmik azalma değerleri incelenmiştir.

Dolgu malzemesi, tane büyüklüğüne göre üç sınıfa ayrıldı : a)- İnce tane; 0-0,5 mm , b)- Orta tane; 0,5-2 mm , c)- İri tane; 2-6 mm. Bundan sonraki tüm çalışmalarında bu gruplandırma dikkate alındı.

7.3 Basma Mukavemeti

7.3.1 Deney Numuneleri

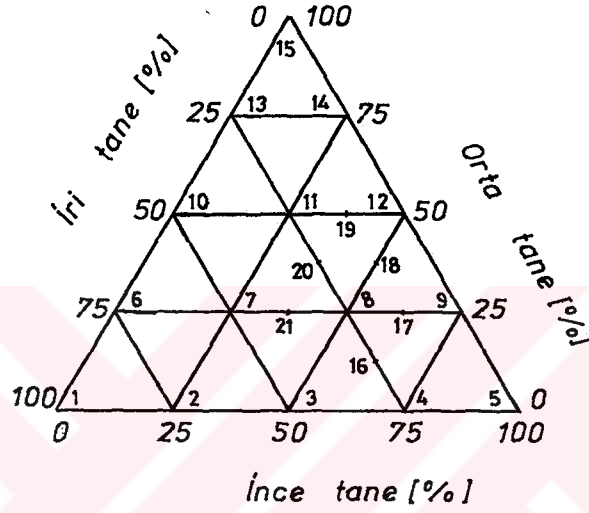
7.3.1.1 Numune Boyutları

Halihazırda, çimento betonu için uygulanan standartların polimer beton için de uygun olacağı görüşü yaygındır ve bu çalışmada da bu görüş doğrultusunda hareket edilmiştir. TS 3068'de basma deneyi için 50 mm çap, 100 mm yükseklik, silindirik şeklindeki numunelerde, en küçük numune boyutları olarak verilmektedir.

Bu araştırmada, çalışma kolaylığı ve malzeme tasarrufu sağlamak amacı ile bu en küçük boyutlar tercih edilmiştir.

7.3.1.2 Tane Boyutları

Deney numuneleri için kullanılacak kuvarsın, tane boyutları daha önce  sınıfa ayrılmıştı. Bu sınıflar, Şekil 7.1 de gösterildiği gibi yerleştirildi. Bu yerleş-

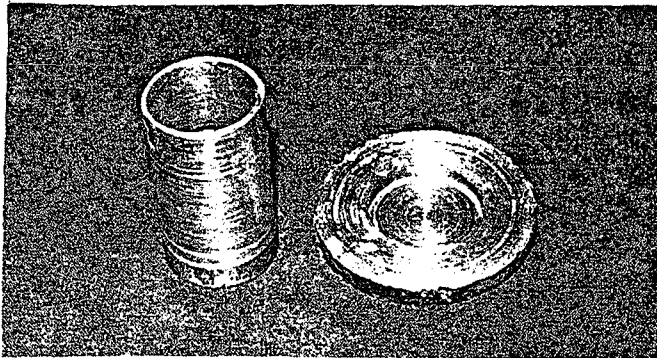


Şekil 7.1 Tane boyutlarının  eksene yerleştirilmesi

tirmede, örneğin 8 no'lu noktanın kompozisyonu, %50 ince tane, %25 orta tane ve %25 iri tane Őeklinindedir.

7.3.1.3 Numune Kalıbı

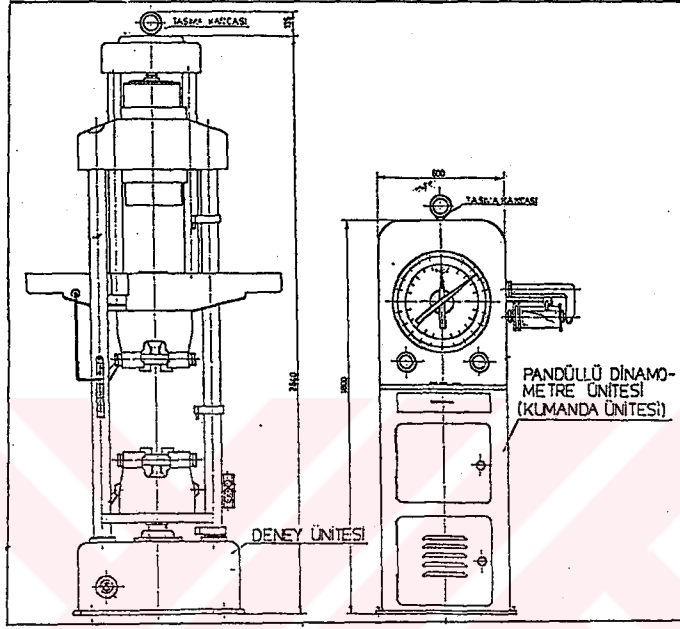
Basma numunelerinin üretimi için kullanılan, i ölçüleri, daha önce belirlenmiş olan numune boyutlarındaki basma kalıbı, Şekil 7.2 de verilmiştir. Numunelerin kalıptan çıkarılmasını sağlamak için kalıplar iki parçalı yapılmıştır.



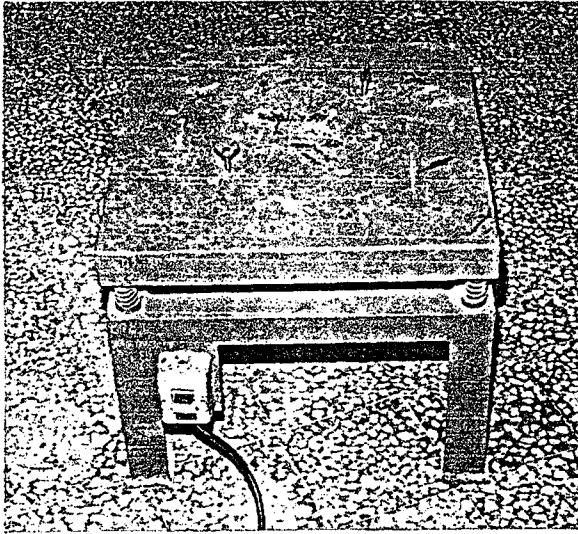
Şekil 7.2 Basma numunesi kalıbı

7.3.2 Deney Ekipmanları

Numuneleri kırmak için 40 ton kapasiteli Alşa Laboratuvar Aletleri firmasına ait hidrolik üniversal çekme-basma-eğme test cihazı kullanılmıştır.



Şekil 7.3 Üniversal çekme-basma-eğme cihazı



Şekil 7.4 Vibrasyon masası

Kalıplara dökülen malzemenin yoğunlaşmasını sağlamak amacıyla Testlab Corporation marka vibrasyon masası kullanılmıştır.

Masa yüzeyi : 50*50 cm

Yüksekliği : 30,5 cm

Frekansı : 4000 dev/dak

Genliği : 0,2 cm

7.3.3 Numunelerin Hazırlanması

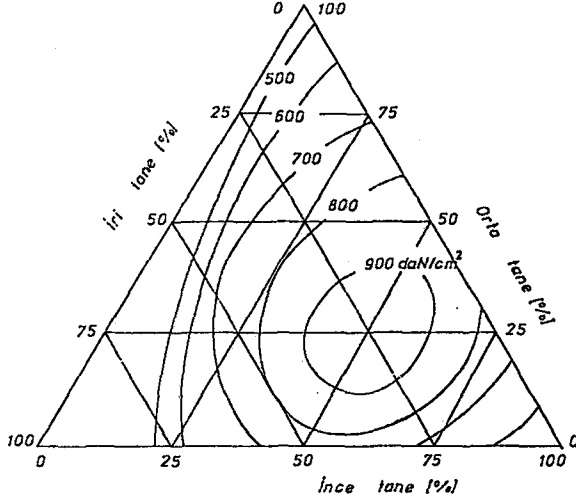
Kuvars kumu, tane büyüklüğü dağılımı birbirinden farklı 15 kompozisyonda (şekil 7.1 de gösterilen her düğüm noktası için) hazırlandı. Poliester miktarı, polimer beton ağırlığının % 15'i ve % 20'si olmak üzere iki farklı oranda alındı. Öngörülen miktarlardaki poliester içine, poliesterin (ağırlık olarak) % 1'i oranında hızlandırıcı katılarak elde edilen karışım, hazırlanan kuvars kumu içine ilave edildi. Hızlandırıcı olarak % 1'lik kobalt oktolat kullanıldı. Döküm yapmadan hemen önce, poliester miktarının % 1'i oranında sertleştirici (% 50'lik metil-etil-keton-peroksit), daha önce hazırlanmış olan harca eklendi. Bu şekilde oluşturulan polimer beton harcı, kalıp ayırıcı sürülmüş kalıplara, vibratör masası üzerinde dolduruldu. TS 3068 de bu deneyler için en az üç numunenin test edilmesi istenmektedir. Bu nedenle her düğüm noktası için beşer numune hazırlanmıştır. Numuneler 2 hafta oda sıcaklığında bekletilerek polimerleşmenin tamamlanması sağlandı.

7.3.4 Deneyin Yapılışı ve Sonuçları

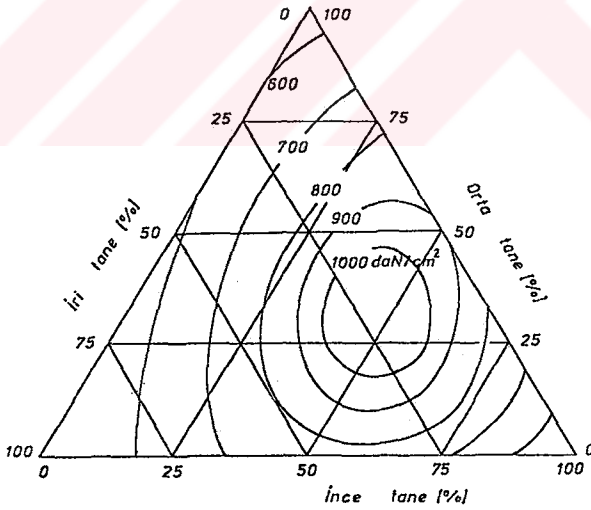
Hazırlanan numunelerin basma deneyleri, TS 3114 de çimentolu beton için verilen 1,3 mm/dak'lık yükleme hızlarında yapılmıştır. Deney sonuçları çizelge 7.1 ve çizelge 7.2 de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar, şekil 7.1 de yerine yazıldığında, basma dayanımının, tane büyüklüğü dağılımı ile nasıl değiştiği hususundaki belirsizliğin büyük olduğu görüldü. Bu belirsizliği, en azından basma mukavemetinin büyük olduğu bölgede azaltmak amacıyla şekil 7.1 de 16 dan 20'ye kadar numaralandırılan noktalar içinde numuneler dökülerek, bu numunelerin de basma mukavemeti değerleri araştırıldı. Deney sonuçları çizelge 7.3 ve çizelge 7.4 de verilmiştir.

Basma mukavemeti değerleri, şekil 7.1 de ait oldukları noktalara yazıldıktan sonra birbiri ile aynı olan değerler birleştirilmek suretiyle şekil 7.5 ve şekil 7.6 da görülen eşdeğer mukavemet eğrileri çizilmiştir.

Poliester yüzdesi ile mukavemet arasındaki ilişkiyi belirlemek amacı ile diğer düğüm noktalarına göre, daha yüksek mukavemet gösteren 8 ve 12 no'lu düğüm noktaları için % 12,5 - 17,5 -22,5 - 25 poliester oranlarında numuneler hazırlanarak basma deneyleri yapılmıştır.

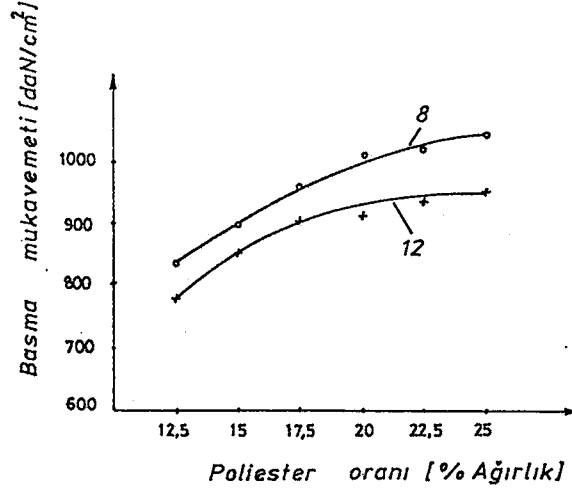


Şekil 7.5 Polimer betonun basma mukavemeti
(Poliester oranı % 15)



Şekil 7.6 Polimer betonun basma mukavemeti
(Poliester oranı % 20)

Deney sonuçları çizelge 7.5 de verilmiş olup, mukavemetteki değişmeyi daha iyi görebilmek amacıyla şekil 7.7 hazırlanmıştır. Her iki numune içinde, poliester oranının artmasıyla mukavemet artmakta, ancak bu artış %20 poliester oranından sonra yavaş olmaktadır.



Şekil 7.7 Poliester oranına bağlı olarak basma mukavemetindeki değişim

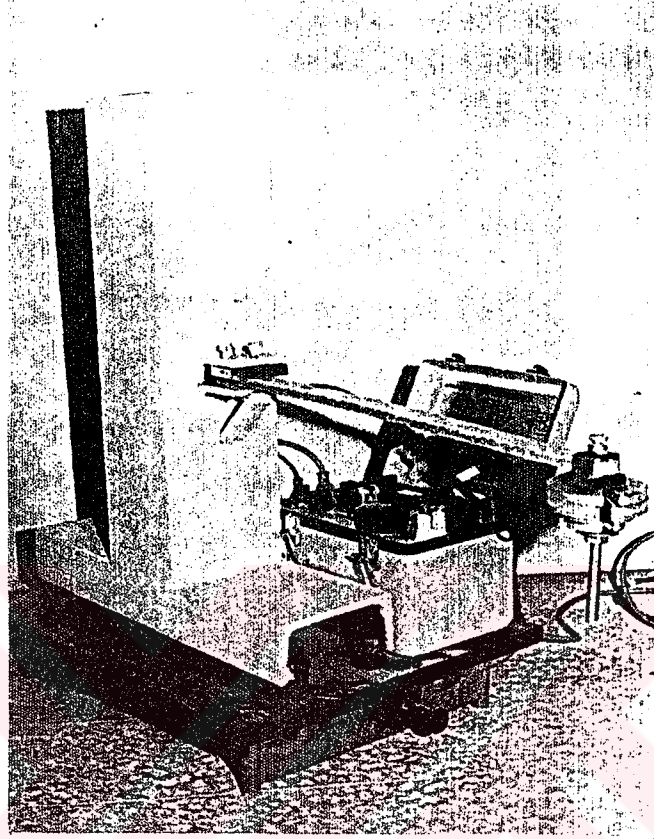
Ayrıca 8 ve 12 no'lu düğüm noktaları için, %20 poliester oranıyla hazırlanan numunelere, bölüm 6.4 de açıklanan ısıtma işlemi uygulanarak, mukavemetteki artış incelenmiştir. Deney sonuçları çizelge 7.6 da verilmiştir. Bu sonuçlara göre ısıtma işlemi uygulanması suretiyle basma mukavemetinde yaklaşık % 20 oranında artış sağlanabilmektedir.

7.4 Elastisite Modülü

7.4.1 Deney Düzenegi

Elastisite modülünün tesbit edilmesi için şekil 7.8 de görülen deney düzenegi hazırlanmıştır. Ölçüm değeri alabilmek için strain-gauge'ler kullanılmıştır. Sistemin, konsol kiriş olarak seçilmesinin nedeni, daha büyük şekil değiştirme vermesi, dolayısıyla strain-gauge'lerden daha kolay ve büyük sinyal alabilmek, strain indicatör'den daha net ve hatasız okuma yapabilmek içindir. Yine aynı sebeple strain gauge'ler, ankastre bağlantıya yakın olacak şekilde, numunelerin üst ve alt yüzeyine yapıştırılmıştır. Numunenin, gövedeye ankastre olarak monte edilmesinde ve gövdenin konstrüksiyonunda rijit bir yapı oluşturulmasına dikkat edilmiştir.

Şekil 7.8 de görülen deney düzeneginde, strain gauge'lerle yarım köprü devresi oluşturularak strain indicatör vasıtasıyla birim şekil değiştirme değeri okunmaktadır.



Şekil 7.8 Elastisite modülü deney düzeneği

7.4.2 Deney Numuneleri

7.4.2.1 Boyutları

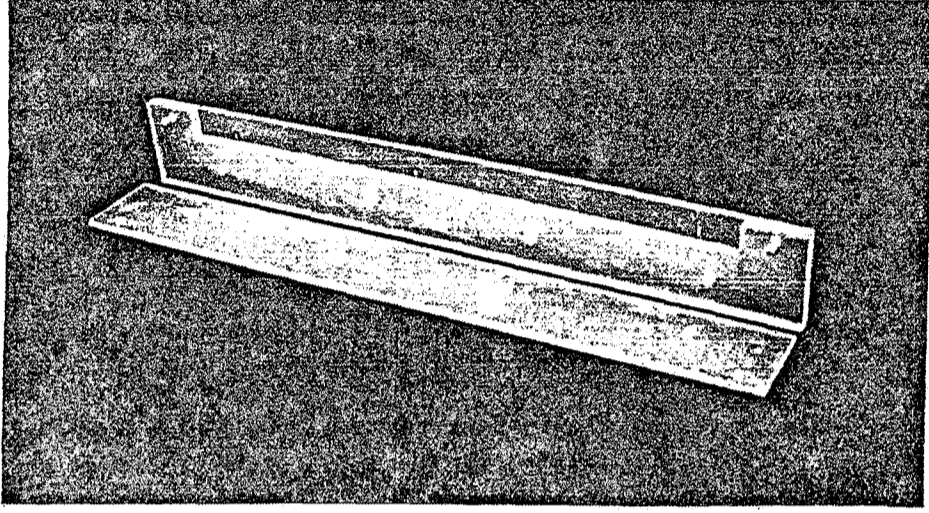
Strain gauge'lerden daha kolay ve büyük sinyal alabilmek için numunelerin boyu uzun, kalınlığı ise küçük tutulmuştur. Numune boyutları 500*25*10 mm alınmıştır.

7.4.2.2 Malzeme Kompozisyonu

Şekil 7.1 de belirtilen 3, 7, 8, 11, 12 no'lu noktalardaki malzeme kompozisyonları için numuneler hazırlanmıştır. Poliester oranı, basma mukavemeti deneyindeki sonuçlar dikkate alınarak %20 seçilmiştir.

7.4.2.3 Numune Kalıbı

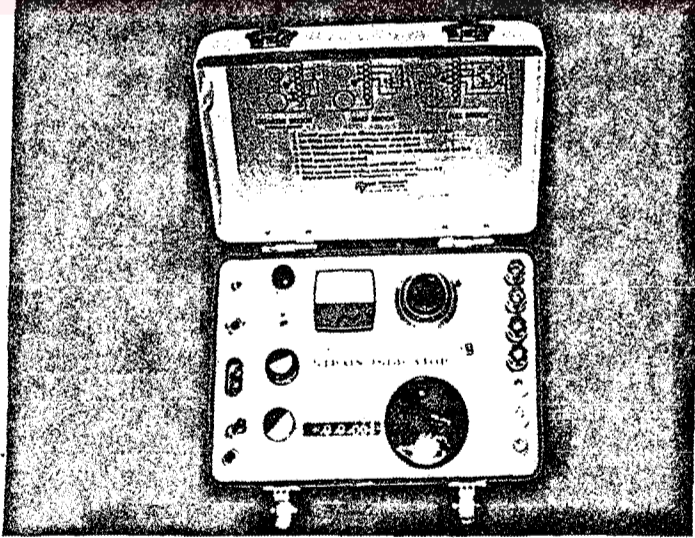
Yukarıda belirtilen ölçülerdeki numuneyi elde etmek amacıyla, iç ölçüleri numune boyutlarında fiber-glas'dan üç parçalı bir kalıp hazırlanmıştır (şekil 7.9).



Şekil 7.9 Numune kalıbı

7.4.3 Deney Ekipmanları

Döküm esnasında yoğunlaşmayı sağlamak amacıyla önceki bölümde bahsedilen vibratör kullanılmıştır. Deney, Hottinger Baldwin Messtechnik firmasının ürettiği Y serisi, 10/120 LY II tipi (boyu 10 mm, direnci 120 ohm, gauge faktörü $k = 2,03 + 0,01$) standart strain-gauge'ler ile yapılmıştır.

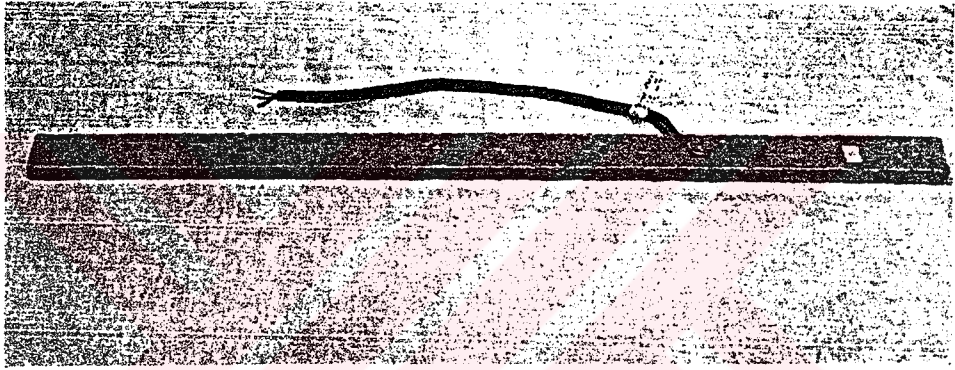


Şekil 7.10 Strain indicatörü

Birim şekil değiştirme, Instruments Division Measurements Group marka dijital strain-indicator'le ölçülmüştür. Ölçüm yapılan P-350 A modeli şekil 7.10 da görülmektedir. Gauge faktörüne bağlı olarak maksimum hata, ölçüm değerinin % 0,5 'ine kadar çıkmaktadır. Okuma netliği $1\mu\epsilon$ dur.

7.4.4 Numunelerin Hazırlanması

Basma deneyinde numunelerin hazırlanması bahsinde anlatıldığı gibi, incelenen kompozisyonda hazırlanan harç, üzerine sıvı kalıp ayırıcı sürüldükten sonra tamamen kuruması sağlanan kalıplara, vibratör üzerinde dolduruldu. Polimerleşmenin tamamlanması için dökümden sonra iki hafta beklendi. Daha sonra numune üzerine strain-gauge'ler yapıştırıldı. Yapıştırma esnasında strain-gauge ile beton arasında hava kalmamasına dikkat edildi. Strain-gauge yapıştırılmış bir numune şekil 7.11 de gösterilmiştir.



Şekil 7.11 Polimer betondan bir numune

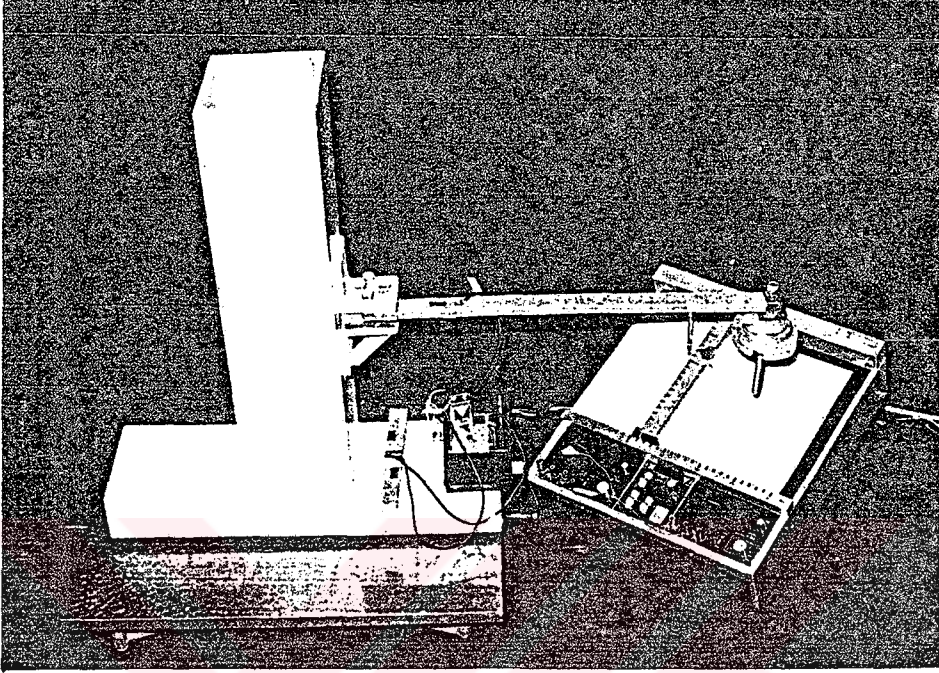
7.4.5 Deneyin Yapılışı ve Sonuçlar

Numunelerin ucuna çeşitli ağırlıklar asılmış ve bunlara tekabül eden ϵ değerleri, strain indicatör'den okunmuştur. Gerilme düzeyi 50 daN/cm^2 ye kadar yüklenen numunelerin ϵ değerleri arasında kayda değer bir farklılık görülmemiştir. Bu sebeple okunan ϵ değerleriyle, elastisite modülü, bütün numuneler için $17 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$ olarak hesaplanmıştır.

7.5 Sönümlenme Değeri (Log. Azalma)

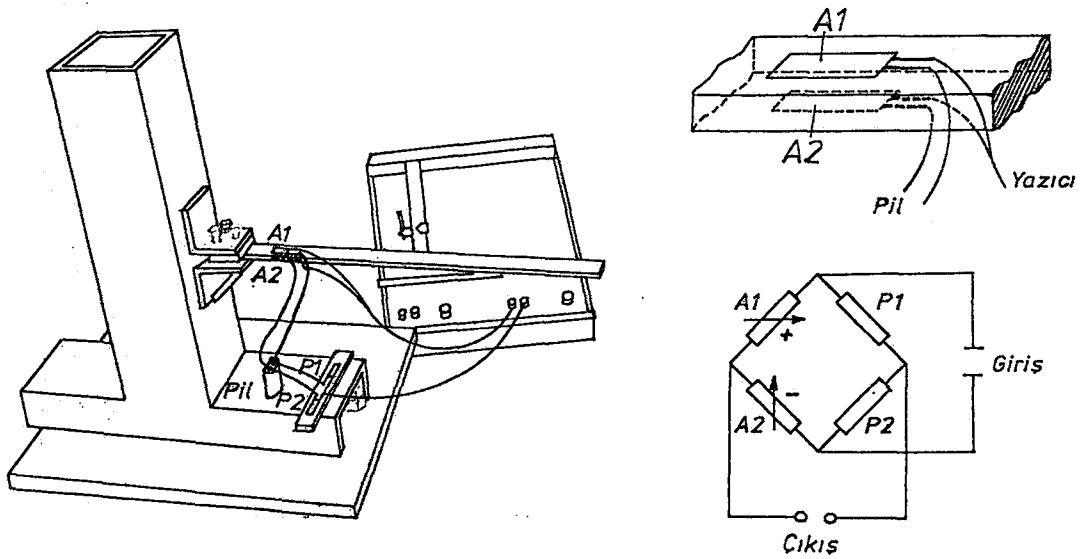
7.5.1 Deney Düzenegi ve Numuneler

Elastisite modülünün bulunmasında kullanılan deney düzenegi ve numuneler, log. azalmanın hesaplanmasında da kullanılmıştır. Polimer beton ile dökme demirin sönümlenmesini karşılaştırmak amacıyla, polimer beton numuneleri ile aynı boyutlarda dökme demirden de bir numune hazırlanmıştır. Deney düzenegi şekil 7.12 de görülmektedir.



Şekil 7.12 Log. azalma deney düzeneği

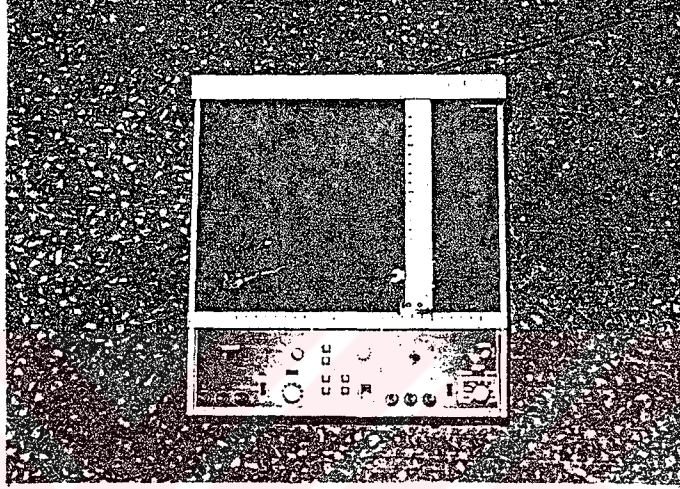
Numune üzerine yapıştırılmış olan iki aktif strain gauge ve iki tane de pasif strain gauge kullanılarak yarım köprü devresi kurulmuştur. Devre, 9 V'luk pil ile beslenmektedir. Kurulan devre, şekil 7.13 de verilmiştir.



Şekil 7.13 Devre şeması

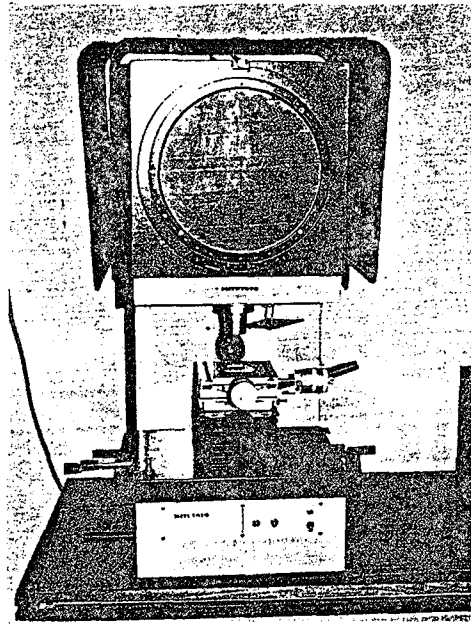
7.5.2 Deney Ekipmanları

Strain-gauge'lerden alınan sinyaller RW-11T Rikadenki marka yazıcı ile kaydedilmiştir. $2 \cdot 10^{-3}$ - 10 cm/sn ilerleme hızlarına, 0,05 mV/cm - 5 V/cm büyütme oranlarına sahip olan yazıcı, şekil 7.14 de görülmektedir.



Şekil 7.14 X-Y Yazıcı (Recorder)

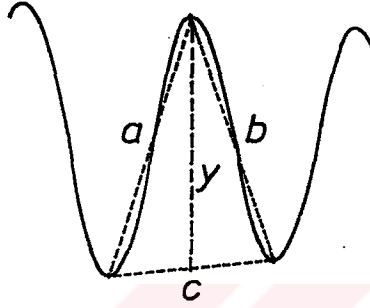
Milimetrik kağıt üzerine kaydedilen sinizoidal eğri üzerinden ölçü almak için PJ- 300 tipi, Mitutoya marka profil projektör kullanılmıştır. Şekil 7.15 de görülen profil projektör ile iş parçasının hem yüzey hemde dış hatlarının ölçüsünü hassas alabilmek için 100 kat büyütme yapılabilmektedir.



Şekil 7.15 Profil projektör cihazı

7.5.3 Deneyin Yapılışı ve Sonuçlar

Boş uçlarına 1 kg yük asılan numuneler, denge konumundan ayrılıp, bırakıldıktan sonraki sönümlü serbest titreşimli hareketi yazıcı ile milimetrik kağıda aktarılmıştır. Elde edilen eğriler şekil 7.(16, 17, 18, 19, 20) de sunulmuştur.



Şekil 7.21 Sönümlü titreşim eğrisi

Profil projeksiyon ile milimetrik kağıt üzerinden şekil 7.21 de gösterilen boyutlar (a,b,c) ölçülmüştür. Bu ölçülen değerler kullanılarak sönümlü sinüzoidal eğrinin y genlik değerleri hesaplanmıştır. Genlik değerleri ile de log. azalma değerleri bulunmuştur. Sonuçlar çizelge 7.(7, 8, 9, 10, 11) de verilmiştir.

Sonuçlar incelendiğinde, polimer betonun sönümleme değerinin (log. azalma) dökme demire nazaran yaklaşık 10 kat fazla olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.1 BASMA DENEYİ SONUÇLARI

Numune boyutları --- Çap : 50 mm, Yükseklik : 100 mm
Polimer beton bileşimi : %15 poliester, %85 kuvars

Numune Adı	Tane Büyüklüğü Dağılımı [%]			Kırılma Yüklere [kN]					Basma Mukavem. [daN/cm ²]	
	İNCE	ORTA	İRİ	P1	P2	P3	P4	P5		PORT
N1	00	00	100	12.2	17.1	15.6	16.6	17.1	15.7	80.1
N2	25	00	75	117.6	94.1	116.6	114.7	92.1	107.0	545.3
N3	50	00	50	118.3	156.9	153.9	161.8	146.6	147.5	751.6
N4	75	00	25	137.0	128.6	139.6	121.5	144.5	134.2	684.0
N5	100	00	00	97.7	115.9	106.2	103.5	94.9	103.6	528.1
N6	00	25	75	29.4	37.2	35.7	39.2	34.8	35.3	179.7
N7	25	25	50	163.2	126.0	168.6	119.8	164.7	148.5	756.5
N8	50	25	25	177.5	166.7	191.7	179.4	165.7	176.2	897.8
N9	75	25	00	129.9	146.1	139.7	143.3	154.3	142.7	726.9
N10	00	50	50	70.1	60.3	58.8	64.7	59.8	62.7	319.7
N11	25	50	25	148.0	152.9	145.1	156.9	167.4	154.1	785.0
N12	50	50	00	164.2	165.3	174.5	159.2	169.6	166.6	848.7
N13	00	75	25	60.8	59.8	53.9	58.3	62.7	59.1	301.1
N14	25	75	00	126.0	127.4	143.1	145.9	131.3	134.7	686.6
N15	00	100	00	87.2	79.4	110.7	105.8	97.0	96.0	489.3

Çizelge 7.2 BASMA DENEYİ SONUÇLARI

Numune boyutları --- Çap : 50 mm, Yükseklik : 100 mm
Polimer beton bileşimi : %20 poliester, %80 kuvars

Numune Adı	Tane Büyüklüğü Dağılımı [%]			Kırılma Yüklere [kN]					Basma Mukavem. [daN/cm ²]	
	İNCE	ORTA	İRİ	P1	P2	P3	P4	P5		PORT
T1	00	00	100	39.2	41.1	30.4	32.3	33.3	35.3	179.7
T2	25	00	75	127.5	120.2	130.7	127.5	117.1	124.6	634.9
T3	50	00	50	145.1	148.5	137.8	149.0	158.1	147.7	752.6
T4	75	00	25	145.3	147.0	150.7	142.0	136.8	144.4	735.6
T5	100	00	00	107.0	107.0	109.4	95.2	113.0	106.3	541.8
T6	00	25	75	62.7	69.6	67.1	72.5	47.0	63.8	325.0
T7	25	25	50	137.4	147.0	140.0	158.8	155.5	147.7	752.8
T8	50	25	25	189.4	183.3	197.1	230.4	191.2	198.3	1010.3
T9	75	25	00	170.6	145.1	167.6	137.2	146.1	153.3	781.2
T10	00	50	50	107.8	121.6	105.9	114.7	98.0	109.6	558.5
T11	25	50	25	167.0	170.4	161.0	156.9	154.3	161.9	825.1
T12	50	50	00	170.6	176.6	182.2	186.3	174.7	178.1	907.4
T13	00	75	25	123.5	102.9	128.9	129.9	132.3	123.5	629.3
T14	25	75	00	144.7	156.7	149.0	151.8	147.8	150.0	764.3
T15	00	100	00	113.7	108.8	110.8	119.6	94.1	109.4	557.5

Çizelge 7.3 BASMA DENEYİ SONUÇLARI

Numune boyutları --> Çap : 50 mm, Yükseklik : 100 mm

Polimer beton bileşimi : %15 poliester, %85 kuvars

Numu Adı	Tane Büyüklüğü Dağılımı [%]			Kırılma [kN]			Yükleri			Basma Mukavem. [daN/cm ²]
	İNCE	ORTA	İRİ	P1	P2	P3	P4	P5	PORT	
N16	62.5	12.5	25	174.2	175.3	168.2	183.1	164.5	173.1	881.8
N17	62.5	25	12.5	160.3	185.3	179.3	183.5	165.3	174.7	890.4
N18	50	37.5	12.5	188.6	173.4	188.2	184.0	158.8	178.6	910.1
N19	37.5	50	12.5	163.5	156.5	172.2	168.9	145.1	161.2	821.6
N20	37.5	37.5	25	177.5	175.2	157.9	176.5	168.3	171.1	871.7
N21	37.5	25	37.5	166.5	179.6	163.3	181.6	169.9	172.2	877.4

Çizelge 7.4 BASMA DENEYİ SONUÇLARI

Numune boyutları --> Çap : 50 mm, Yükseklik : 100 mm

Polimer beton bileşimi : %20 poliester, %80 kuvars

Numu Adı	Tane Büyüklüğü Dağılımı [%]			Kırılma [kN]			Yükleri			Basma Mukavem. [daN/cm ²]
	İNCE	ORTA	İRİ	P1	P2	P3	P4	P5	PORT	
T16	62.5	12.5	25	172.2	168.6	170.2	169.9	185.5	173.3	883.0
T17	62.5	25	12.5	189.7	177.4	184.5	182.4	194.2	185.6	945.9
T18	50.0	37.5	12.5	196.6	205.8	196.6	183.9	199.3	196.4	1001.0
T19	37.5	50	12.5	188.7	189.1	195.5	207.1	186.8	193.4	985.7
T20	37.5	37.5	25	188.7	196.9	194.7	186.1	208.0	194.9	993.0
T21	37.5	25	37.5	174.3	183.8	181.6	179.0	169.7	177.7	905.4

Çizelge 7.5 BASMA DENEYİ SONUÇLARI

Numune boyutları --> Çap : 50 mm, Yükseklik : 100 mm

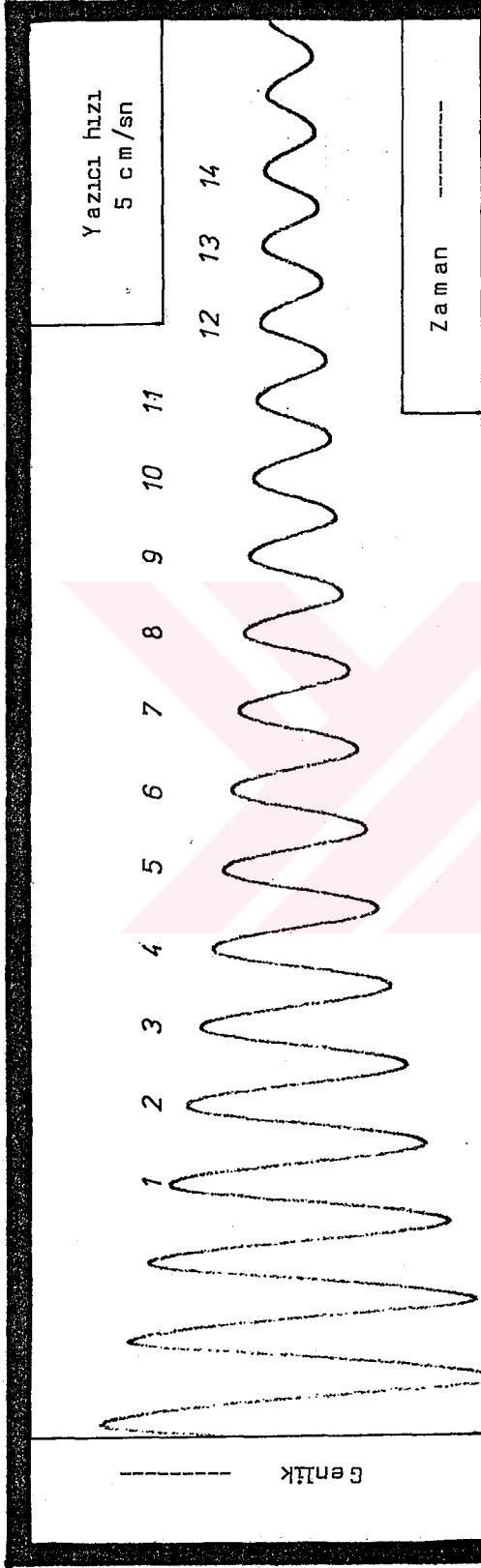
Polies. Oranı (%)	Tane Büyüklüğü Dağılımı [%]			Kırılma [kN]			Yükleri			Basma Nukavem. [daN/cm ²]
	İNCE	ORTA	İRİ	P1	P2	P3	P4	P5	PORT	
12.5	50	25	25	173.5	146.2	157.9	176.8	169.1	164.7	839.2
12.5	50	50	00	149.5	159.3	153.7	164.8	138.8	153.2	780.7
17.5	50	25	25	193.2	186.1	168.6	188.3	199.1	187.1	953.2
17.5	50	50	00	176.8	191.2	168.4	181.8	167.8	177.2	902.9
22.5	50	25	25	195.6	208.3	181.8	199.2	211.5	199.3	1015.4
22.5	50	50	00	191.2	186.1	178.8	189.0	176.8	184.4	939.5
25	50	25	25	205.4	191.2	208.3	219.2	193.2	203.5	1036.7
25	50	50	00	193.2	195.6	176.9	178.8	186.1	186.1	948.4

Çizelge 7.6 BASMA DENEYİ SONUÇLARI

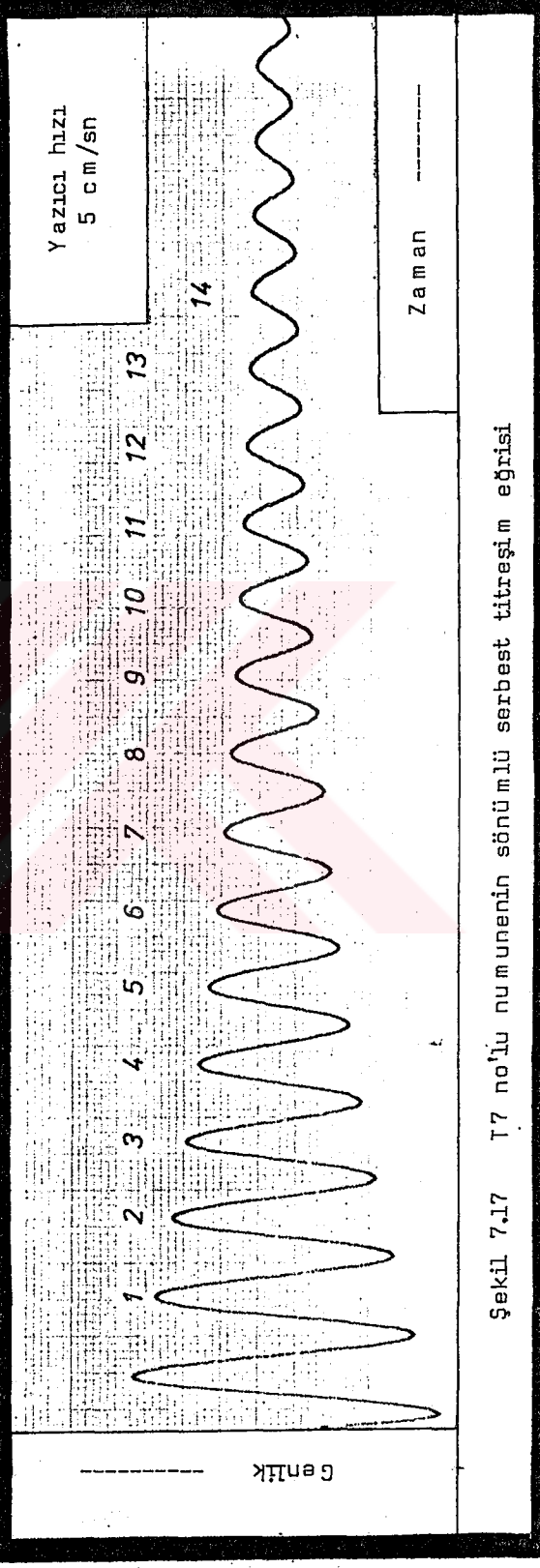
Numune boyutları --> Çap : 50 mm, Yükseklik : 100 mm

Polimer beton bileşimi : %20 poliester, %80 kuvars

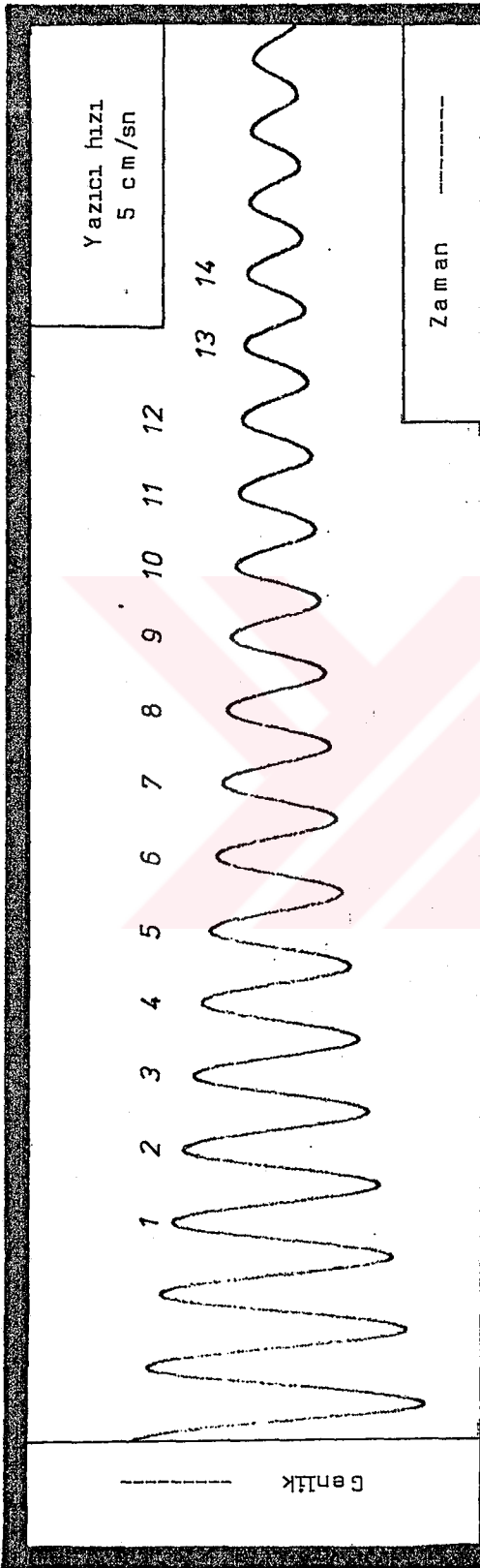
Numune Adı	Tane Büyüklüğü Dağılımı [%]			Kırılma [kN]			Yükleri			Basma Nukavem. [daN/cm ²]
	İNCE	ORTA	İRİ	P1	P2	P3	P4	P5	PORT	
Tt8	50	25	25	263.3	249.0	258.2	243.5	218.4	246.5	1255.9
Tt12	50	50	00	208.3	218.7	212.5	191.2	189.0	203.9	1039.2



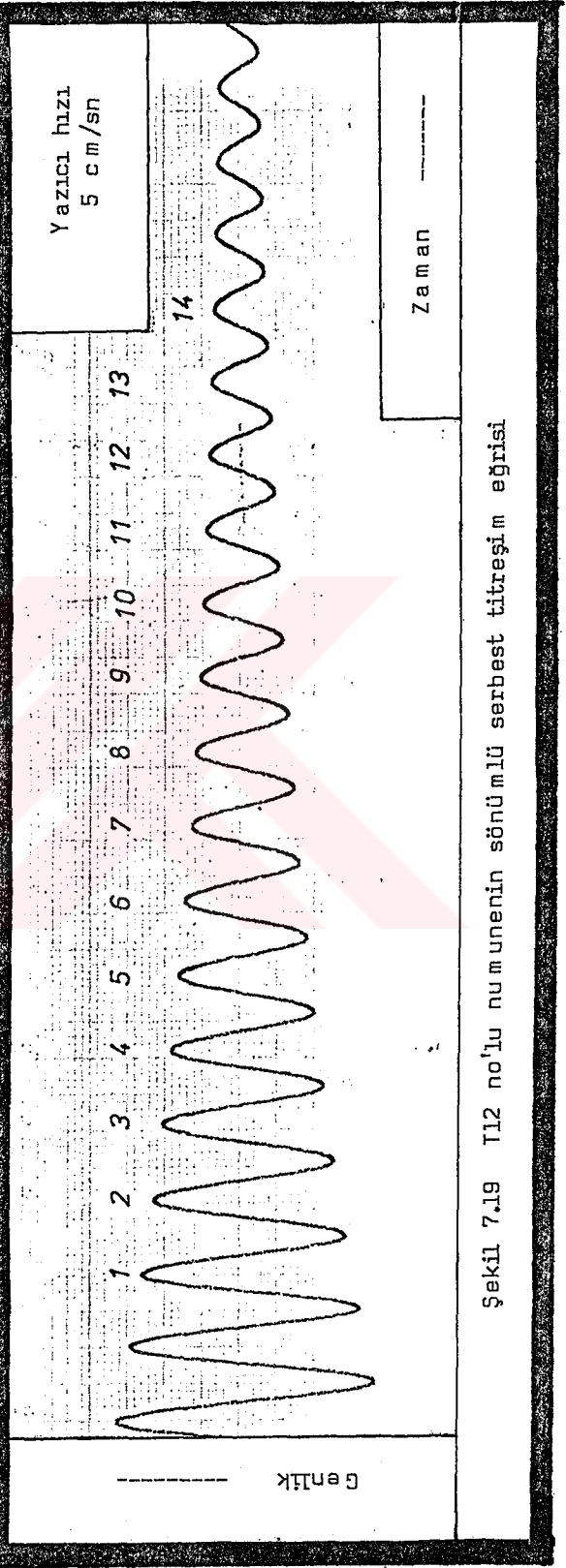
Şekil 7.16 T3 no'lu numunenin sönümlü serbest titreşim eğrisi



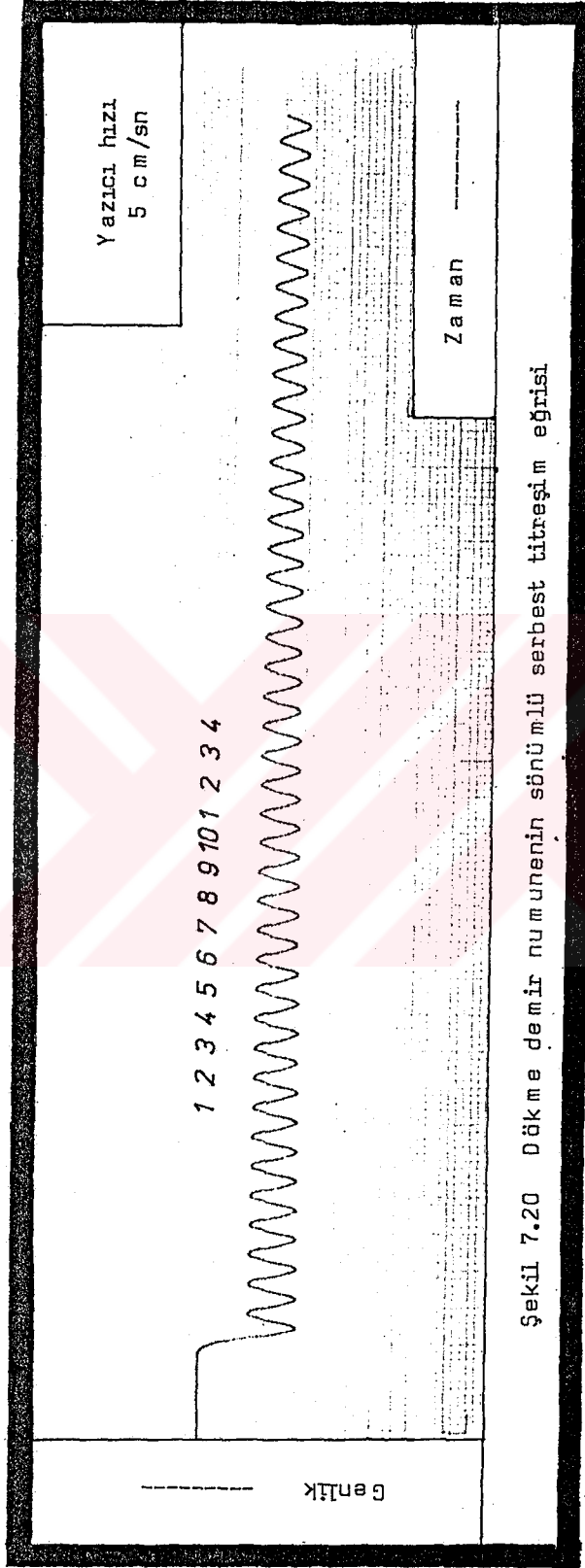
Şekil 7.17 T7 no'lu numunenin sönümlü serbest titreşim eğrisi



Şekil 7.18 T8 no'lu numunenin sönümlü serbest titreşim eğrisi



Şekil 7.19 T12 no'lu numunenin sönümlü serbest titreşim eğrisi



Çizelge 7.7 SONÜMLEME DENEY SONUÇLARI

Numune boyutları --> Boy:500 mm, Genişlik:25 mm, Kalınlık:10 mm

Polimer beton bileşimi : %20 poliester, %80 kuvars

Numune adı : T3

Genlik No	a [cm]	b [cm]	c [cm]	Genlik Y [cm]
1	3.800	3.500	1.120	3.610
2	3.290	3.040	1.110	3.118
3	2.850	2.650	1.100	2.696
4	2.480	2.320	1.090	2.339
5	2.170	2.030	1.080	2.031
6	1.910	1.810	1.080	1.781
7	1.720	1.610	1.080	1.576
8	1.530	1.470	1.070	1.402
9	1.400	1.320	1.070	1.251
10	1.270	1.210	1.070	1.119
11	1.160	1.110	1.060	1.004
12	1.070	1.020	1.050	0.904
13	0.990	0.950	1.050	0.816
14	0.930	0.890	1.050	0.744

Yort(*) [cm]	Yük Değeri [daN]	Log. Azalma
3.364	0.547	0.146
2.907	0.472	0.145
2.517	0.408	0.142
2.185	0.355	0.141
1.906	0.310	0.131
1.678	0.274	0.122
1.489	0.244	0.117
1.326	0.218	0.114
1.185	0.196	0.111
1.062	0.177	0.109
0.954	0.160	0.105
0.860	0.145	0.102
0.780	0.133	0.093

(*):Yort değeri birbirini takip eden iki genliğin aritmetik ortalamasıdır.

Çizelge 7.8 SONÜMLEME DENEY SONUÇLARI

Numune boyutları --> Boy:500 mm, Genişlik:25 mm, Kalınlık:10 mm

Polimer beton bileşimi : %20 poliester, %80 kuvars

Numune adı : T7

Genlik No	a [cm]	b [cm]	c [cm]	Genlik Y [cm]
1	3.560	3.290	1.120	3.382
2	3.060	2.840	1.100	2.900
3	2.650	2.450	1.080	2.494
4	2.290	2.140	1.070	2.151
5	2.000	1.870	1.070	1.861
6	1.760	1.660	1.070	1.625
7	1.570	1.470	1.070	1.424
8	1.390	1.330	1.070	1.251
9	1.250	1.200	1.060	1.105
10	1.140	1.090	1.060	0.981
11	1.040	1.000	1.050	0.875
12	0.960	0.930	1.050	0.786
13	0.900	0.870	1.050	0.713
14	0.850	0.810	1.040	0.647

Yort [cm]	Yük Değeri [daN]	Log. Azalma
3.141	0.510	0.154
2.697	0.438	0.151
2.322	0.377	0.148
2.006	0.326	0.145
1.743	0.284	0.135
1.524	0.249	0.132
1.337	0.220	0.129
1.178	0.195	0.124
1.043	0.174	0.118
0.928	0.156	0.115
0.830	0.141	0.107
0.749	0.128	0.098
0.680	0.117	0.096

Çizelge 7.9 SÖNÜMLEME DENEY SONUÇLARI

Numune boyutları --> Boy:500 mm, Genişlik:25 mm, Kalınlık:10 mm

Polimer beton bileşimi : %20 poliester, %80 kuvars

Numune adı : T8

Genlik No	a [cm]	b [cm]	c [cm]	Genlik Y [cm]
1	3.010	2.840	1.010	2.882
2	2.700	2.560	1.000	2.583
3	2.430	2.300	1.000	2.312
4	2.190	2.080	1.000	2.076
5	1.980	1.890	1.000	1.870
6	1.800	1.720	1.000	1.688
7	1.650	1.570	1.000	1.531
8	1.500	1.450	0.990	1.390
9	1.390	1.320	1.000	1.260
10	1.270	1.220	0.990	1.143
11	1.170	1.130	1.000	1.036
12	1.080	1.050	1.000	0.940
13	1.010	0.980	1.000	0.860
14	0.950	0.920	1.000	0.790

Yort [cm]	Yuk Değeri [daN]	Log. Azalma
2.733	0.443	0.110
2.448	0.397	0.111
2.194	0.356	0.108
1.973	0.321	0.105
1.779	0.290	0.102
1.609	0.263	0.098
1.460	0.239	0.097
1.325	0.218	0.098
1.201	0.198	0.098
1.089	0.181	0.098
0.988	0.165	0.097
0.900	0.151	0.089
0.825	0.140	0.085

Çizelge 7.10 SONÜMLEME DENEY SONUÇLARI

Numune boyutları --> Boy:500 mm, Genişlik:25 mm, Kalınlık:10 mm

Polimer beton bileşimi : %20 poliester, %80 kuvars

Numune adı : T12

Genlik No	a [cm]	b [cm]	c [cm]	Genlik Y [cm]
1	3.000	2.800	1.050	2.854
2	2.660	2.520	1.040	2.538
3	2.390	2.250	1.040	2.262
4	2.140	2.020	1.030	2.016
5	1.920	1.830	1.030	1.803
6	1.750	1.650	1.030	1.621
7	1.580	1.520	1.020	1.464
8	1.450	1.390	1.020	1.326
9	1.340	1.280	1.020	1.207
10	1.230	1.190	1.020	1.097
11	1.140	1.100	1.020	0.997
12	1.060	1.010	1.000	0.907
13	0.980	0.950	1.000	0.825
14	0.920	0.890	1.000	0.754

Yort [cm]	Yük Değeri [daN]	Log. Azalma
2.696	0.437	0.117
2.400	0.389	0.115
2.139	0.347	0.115
1.910	0.311	0.111
1.712	0.279	0.107
1.542	0.252	0.102
1.395	0.229	0.099
1.266	0.209	0.094
1.152	0.191	0.095
1.047	0.174	0.096
0.952	0.160	0.095
0.866	0.146	0.094
0.790	0.134	0.090

Çizelge 7.11 SÖNÜMLEME DENEY SONUÇLARI

Numune boyutları --> Boy:500 mm, Genişlik:25 mm, Kalınlık:10 mm

Numune adı : Dökme demir, lamel grafitli, E tipi

grafit dağılımlı, ana matris perlit, sertlik 205 HB

Genlik No	a [mm]	b [mm]	c [mm]	Genlik Y [mm]
1	6.510	6.530	4.160	6.179
2	6.410	6.410	4.160	6.063
3	6.300	6.320	4.160	5.957
4	6.220	6.210	4.150	5.858
5	6.120	6.150	4.130	5.777
6	6.070	6.030	4.130	5.687
7	6.000	5.970	4.130	5.617
8	5.930	5.930	4.130	5.559
9	5.860	5.880	4.110	5.499
10	5.820	5.810	4.110	5.440
11	5.780	5.740	4.110	5.381
12	5.720	5.700	4.100	5.329
13	5.680	5.650	4.090	5.283
14	5.630	5.610	4.080	5.237
15	5.600	5.570	4.080	5.199

Yort [mm]	Yük Değeri [daN]	Log. Azalma
6.121	1.018	0.019
6.010	0.999	0.018
5.908	0.981	0.017
5.818	0.965	0.014
5.732	0.950	0.016
5.652	0.936	0.012
5.588	0.925	0.010
5.529	0.914	0.011
5.469	0.904	0.011
5.410	0.894	0.011
5.355	0.884	0.010
5.306	0.876	0.009
5.260	0.868	0.009
5.218	0.861	0.007

BÖLÜM 8

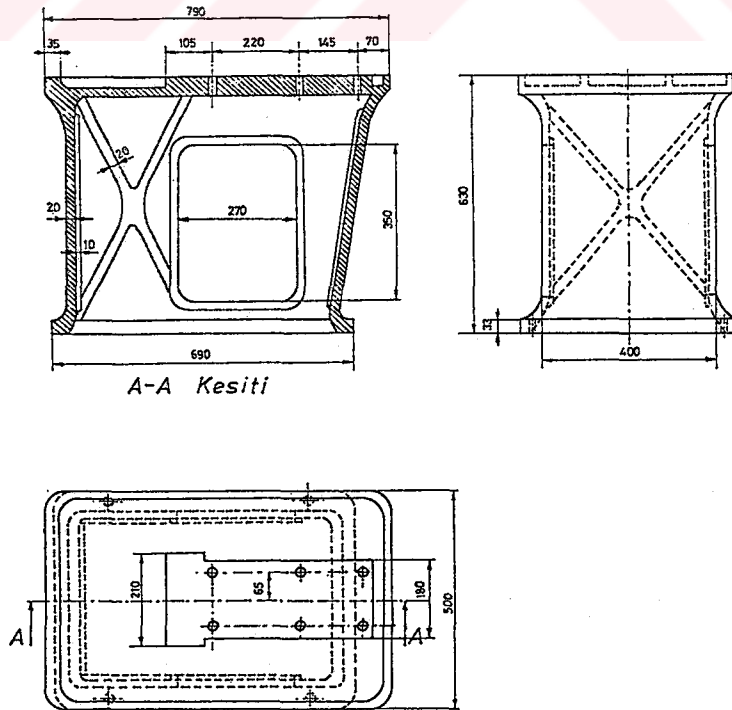
DENEYSEL ÇALIŞMA

8.1 Polimer Beton

Polimer betonun, mukavemet değerinin yüksek, maliyetinin düşük olmasını sağlamak amacıyla, polimer beton parametrelerinin belirlenmesi bölümündeki deneylerin sonuçları dikkate alınarak, poliester oranı % 20 seçilmiştir. Tane büyüklüğü dağılımının tesbitinde ise, basma deneyi ve sönümlenme deneyi sonuçları birlikte ele alınmıştır. İri tane yüzdesinin artmasıyla sönümlenmenin arttığı görülmüş ve basma deneyi sonuçları da dikkate alınarak tane büyüklüğü dağılımı, % 40 ince % 25 orta ve % 35 iri tane şeklinde belirlenmiştir.

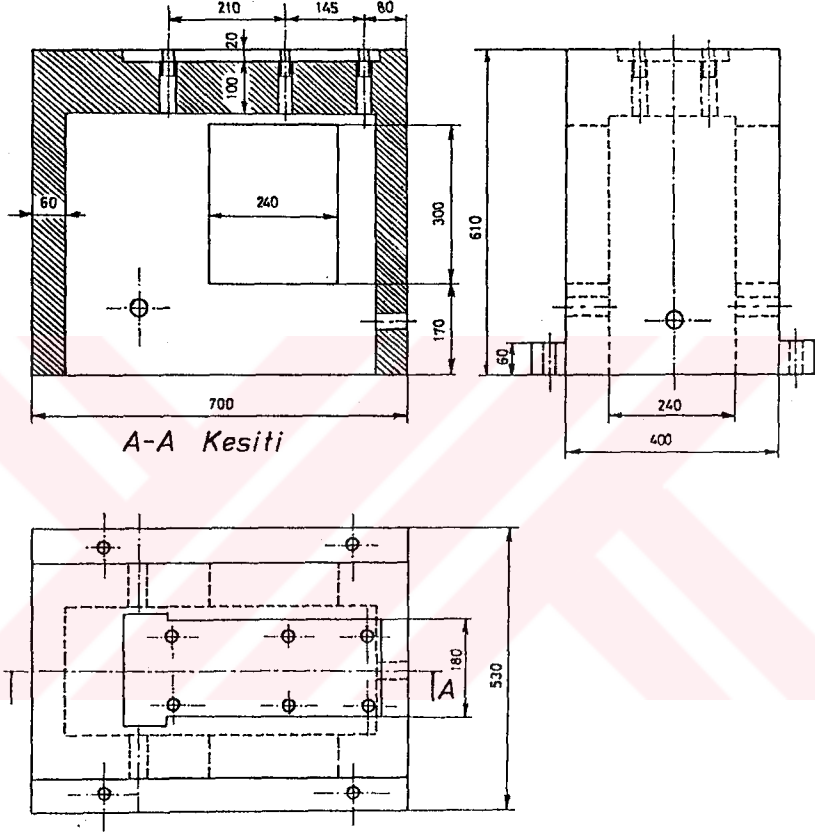
8.2 Tezgah Gövdesinin Konstrüksiyonu

Polimer betonun tezgah gövdelerinde kullanılabilirliğini gösterebilmek amacıyla kıyaslama yapabileceğimiz bir dökme demir tezgah gövdesi belirlendi. Bu atölyemizde kullandığımız bir planya tezgah gövdesi idi. Basit yapısı, seçilmesinin en büyük nedeni olmuştur (şekil 8.1).



Şekil 8.1 Dökme demir planya tezgahının teknik resmi

Polimer betondan imal edeceğimiz tezgah gövdesinin dış boyutları, mantıklı bir karşılaştırma yapabilmek için dökme demir bir gövde ile eşit tutulmuştur. Ancak dökme demirde, yüksek elastikiyet modülü ve tezgah gövdesindeki kaburgalar ile sağlanan rijitlik avantajı, polimer betonda duvar kalınlıklarının büyük ölçülendirilmesiyle ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır.

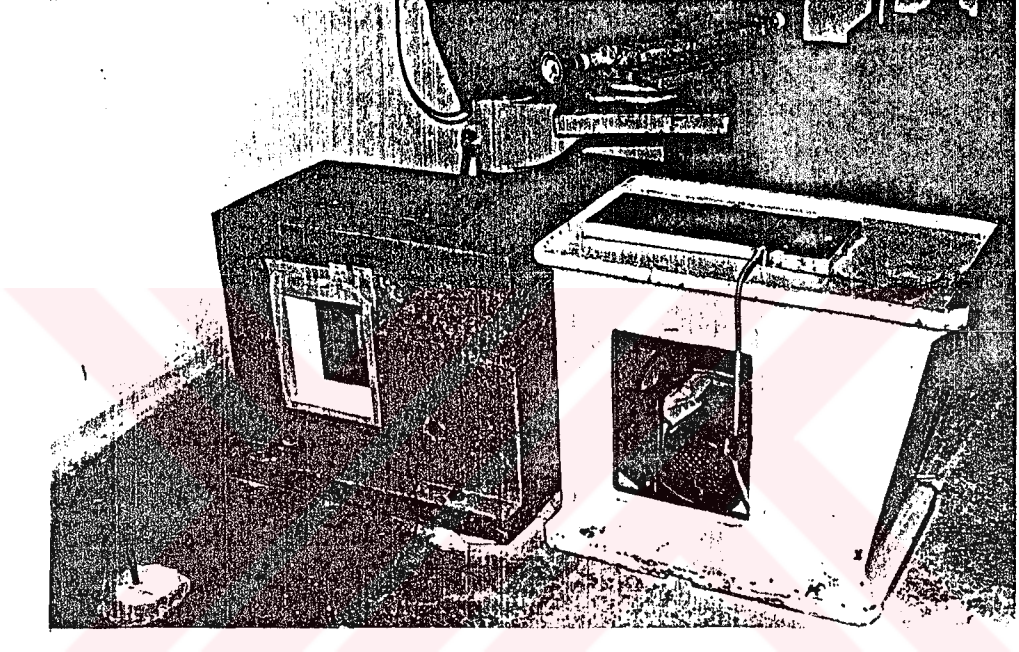


Şekil 8.2 Polimer betondan tezgah gövdesinin teknik resmi

Tezgah gövdesinin üst yüzeyine, üzerinde taşıyacağı parçaları bağlayabilmek için , üretimi esnasında bir çelik plaka yerleştirilmiştir. Gövdenin iki yan duvarında, dökme demirdeki ile hemen hemen aynı boyutlarda boşluk bırakılmıştır. Ayrıca gövdenin taşınması ve yere monte edilmesi için gerekli olan konstrüktif tedbirler alınmıştır. Polimer betondan tezgah gövdesinin teknik resmi şekil 8.2 de verilmiştir.

8.3 Tezgah Gövdesinin Dökümü

Boyutları belirlenen tezgah gövdesinin polimer betondan imalatı için dökme kalıbı hazırlandı. Kalıp malzemesi olarak sunta kullanıldı. Dökümün yapılacağı kalıbın iç yüzeyi, PVC bantlarla kaplanarak, polimer betonun kalıp yüzeyine yapışması önlenmiştir.



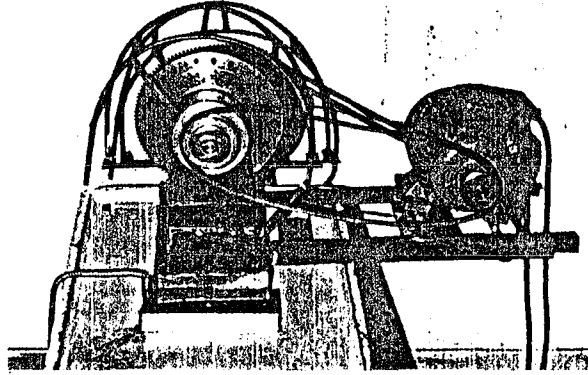
Şekil 8.3 Polimer beton ve dökme demir tezgah gövdeleri

Karışım oranları belirlenen polimer beton harcına daha önceki bölümlerde anlatıldığı üzere sertleştirici ve hızlandırıcı da ilave edildikten sonra vibratör üzerinde gövde kalıbına doldurulmuştur. Polimer betonun sertleşmesini müteakip gövde, kalıptan çıkartılmıştır(şekil 8.3).

8.4 Deney Ekipmanları

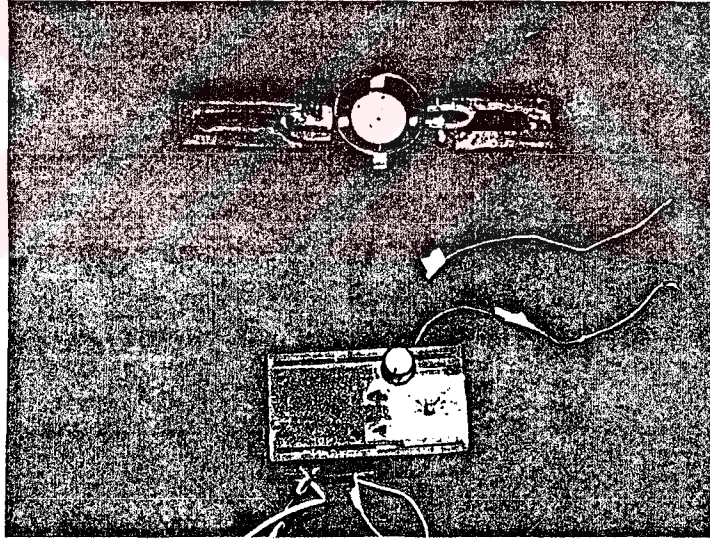
Tahrik grubu ; Bir motor ve iki ucundan yataklanmış, üzerinde volan bulunan bir milden ibarettir. Motor devri, kayış kasnak mekanizması ile mile aktarılmaktadır (şekil 8.4).

Kullanılan amplifikatör tarafımızdan imal edilmiş olup, 1700 kez büyütme yapabilmektedir. Tezgah gövdesine uygulanan kuvvet değerini kontrol etmek için



Şekil 8.4 Tahrir grubu

Tiedemann marka K888 tipi dinamometre kullanılmıştır. Ölçme kapasitesi 500daN olan halkalı dinamometre ve doğru akım amplifikatörü şekil 8.5 de gösterilmiştir.

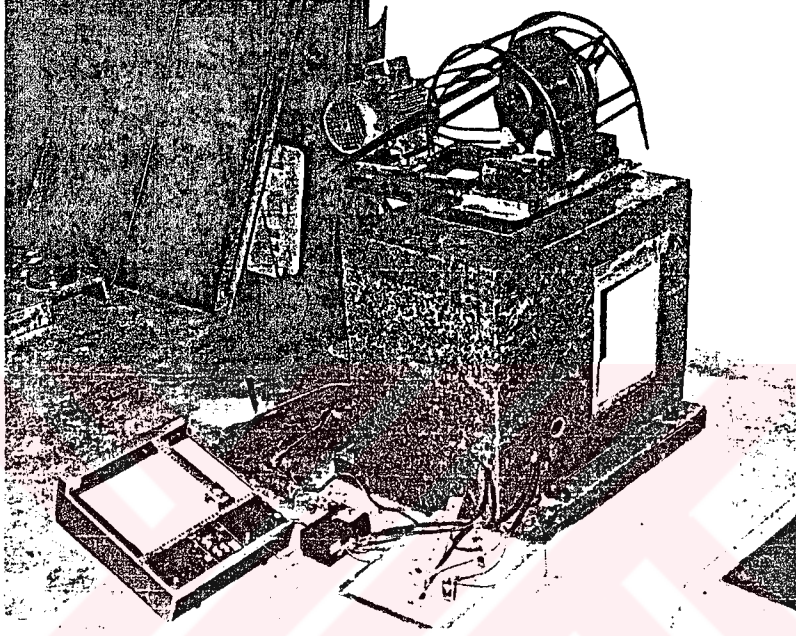


Şekil 8.5 Amplifikatör ve halkalı dinamometre

Tezgahların çalışması esnasında oluşan gürültü seviyesi, Quest Electronics marka (model 228) ses düzeyi ölçer ile saptanmıştır. Cihazın ölçebileceği maksimum ses düzeyi 130 dBA'dır. Deneyde kullanılan yazıcı ve strain-gauge'ler hakkında önceki deneyler bahsinde bilgi verilmiştir.

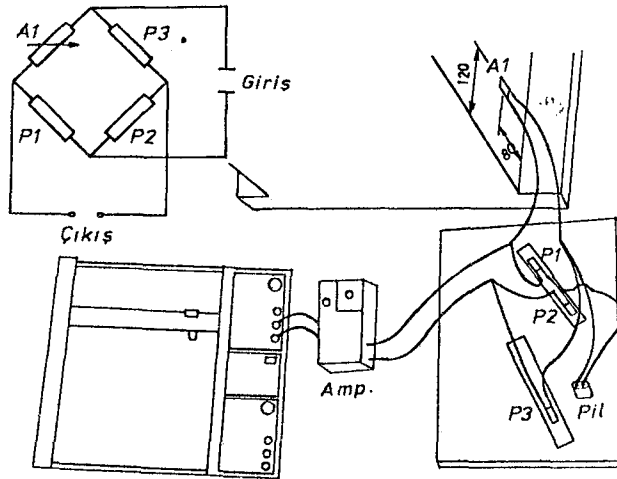
8.5 Deney Düzeneği

Tezgağ gövdelerinin dinamik performanslarını ortaya koyabilmek amacıyla titreşimli yük altındaki gürültü seviyelerinin ve şekil değiştirmelerinin tesbiti için şekil 8.6 da gösterilen deney düzeneği hazırlanmıştır.

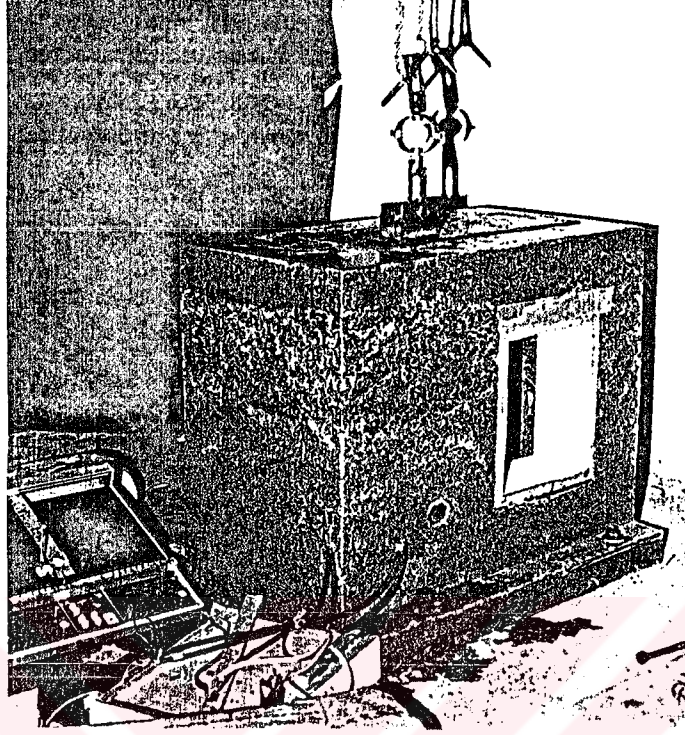


Şekil 8.6 Dinamik performans için test düzeneği

Titreşimli yük altındaki tezgağ gövdesinin şekil değiştirmesi, strain-gauge'ler vasıtasıyla algılanmıştır. Strain-gauge'ler, güçlü sinyal alabilmek amacıyla büyük şekil değiştirmenin olduğu, gövde duvarının alt bölgesine yapıştırılmıştır. Kurulan çeyrek köprü devresi şekil 8.7 de verilmiştir.



Şekil 8.7 Strain gauge devresi



Şekil 8.8 Statik deformasyonu ölçmek için deney düzeneği

Tezgaah gövdelerinin statik yüklemelerdeki durumunu görmek için hazırlanan deney düzeneği şekil 8.8 de gösterilmiştir.

8.6 Deneyin Yapılışı ve Bulgular

8.6.1 Dinamik Rijitliğin Ölçümü

Deneyde hemen hemen aynı ölçülerdeki polimer beton ve dökme demir malzemelerden yapılmış tezgaah gövdeleri kullanılmıştır. Gövdeler zemine sağlam bir şekilde bağlanmıştır. Titreşimli yük altındaki deney gövdelerinin şekil değiştirmeleri strain-gauge'ler vasıtasıyla algılanmıştır. Şekil 8.6 da görülen deney düzeneğinde tahrik grubu, dökme demir gövdenin kendi, polimer beton gövdenin ise üzerindeki çelik plakaya civata-somun bağlantısıyla rijit bir şekilde tesbit edilmiştir. Tahrik grubunda titreşim oluşturmak için , iki ucundan rulmanlı yataklar ile yataklanmış bir mil üzerine, ağırlık merkezi dönme ekseninden kaçık bir volan takılmıştır. Bu suretle, mil tahrik edildiğinde oluşan merkezkaç kuvveti ile amaçlanan kontrollü bir titreşim elde edilmektedir.

Mil, kayış-kasnak mekanizmasıyla bağlandığı bir A.C elektrik motoru tarafından tahrik edilmiştir. Milin devri, mekanik bir turmetre ile ölçülmüş ve kayış gerginliğini ayarlamak suretiyle değiştirilmiştir. Merkezkaç kuvveti yaratacak kütle 300 gr alınarak, 600-800-1000-1200 dev/dak devirleri ile dönen mil ile titreşime zorlanan gövdelerin, strain-gauge'lerle algılanan şekil değiştirmeleri şekil 8.9 ve şekil 8.10 da verilmiştir. Sabit kütle ile yapılan bu deneylerde mil devrinin artmasıyla doğal olarak merkezkaç kuvveti büyüyecek, dolayısıyla şekil değiştirmelerde de artma meydana gelecektir. Bu durum bize tezgah gövdesi hakkında daha az bilgi verecektir. Bu nedenle tezgah gövdeleri, farklı devirlerde, merkezkaç kuvveti yaratan kütleler değiştirilerek, aynı (50 daN) kuvvet ile titreşmeye zorlanmıştır. Strain-gauge'ler vasıtasıyla elde edilen eğriler şekil 8.11 ve şekil 8.12 de sunulmuştur.

8.6.2 Gürültü Seviyesinin Ölçümü

Titreşim sönümlemesi ile gürültü arasında bir bağlantı vardır. Çeşitli nedenlerle çalışmaları esnasında üzerlerinde titreşim oluşan makina veya parçalarında gürültü meydana gelir. Gürültünün az veya çok oluşu sistemde meydana gelen titreşim değerine bağlıdır. Bu nedenle tezgah gövdelerinin dinamik performanslarını karşılaştırmak için çalışma anındaki gürültü seviyeleri ölçülmüştür.

Çizelge 8.1 Tezgahlarda gürültü seviyesi

Mil devri (dev/dak)	Gürültü seviyesi dBA	
	Dökme demir	Polimer beton
1400	88.2	86.1
1900	90.3	88.0
2800	93.1	91.3

Mil, üzerine takılan üç kademeli bir kasnak vasıtasıyla üç farklı devirde tahrik edilmiştir. Tezgah gövdesinin üst yüzeyinden 1 m uzaklığa yerleştirilen ses ölçer ile ölçülen gürültü seviyeleri çizelge 8.1 de verilmiştir.

8.6.3 Statik Rijitliğin Ölçümü

Tezgah gövdelerinin statik kuvvet altındaki şekil değiştirmelerinin de az olması beklenir. Statik deformasyonu ölçmek için hazırlanan şekil 8.8 deki düzende tezgah gövdesine uygulanan kuvvet dinamometre ile kontrol edilmiştir. 500 daN'luk bir kuvvetle çekiye zorlanan gövdelerin deformasyonları strain gauge'ler vasıtasıyla ölçülmüştür. Her iki gövdede de eşit değerlerde şekil değiştirmeler gözlenmiştir: Dökme demir gövdede $3,5 \cdot 10^{-6}$, polimer beton gövdede $4 \cdot 10^{-6}$.

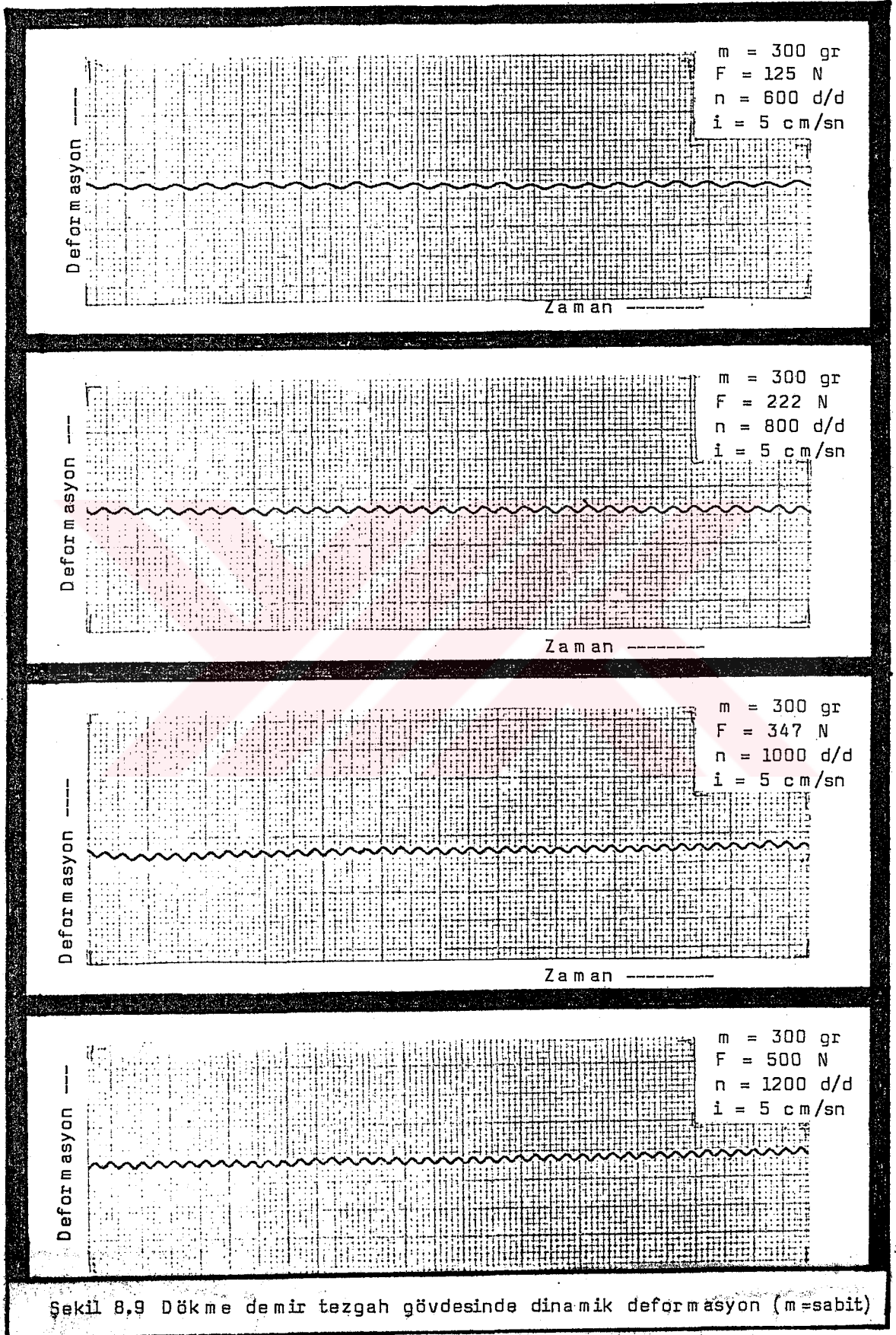
8.6.4 Deney Sonuçları

Sabit merkezkaç kütle ($m=300$ gr) ile yapılan deney sonunda, hem polimer beton hem de dökme demir gövdede meydana gelen şekil değiştirmelerin, mil devrinin artmasıyla büyük oranda sabit kaldığı, hatta 1200 dev/dak. da daha da düşüğü gözlenmiştir. Sabit merkezkaç kuvvet ($F=50$ daN) ile yapılan deney sonunda ise, her iki gövdedeki şekil değiştirmelerin, mil devrinin artmasıyla azaldığı görülmüştür. Düşük devirlerdeki yüksek genlikli titreşimin nedeni, bu devirlerde doğal frekansların varlığıdır.

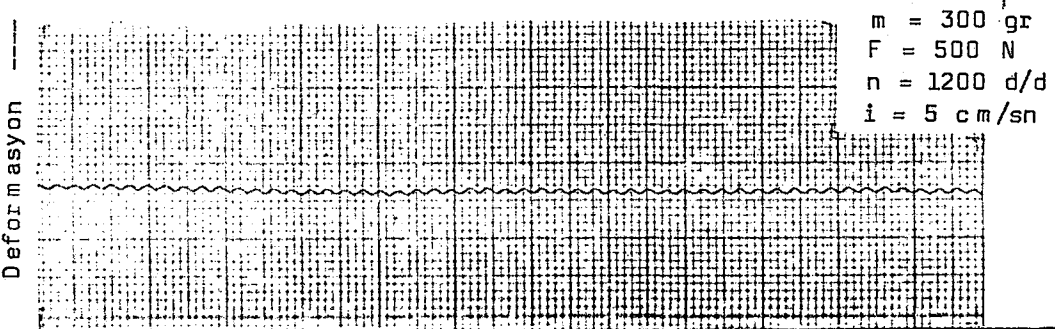
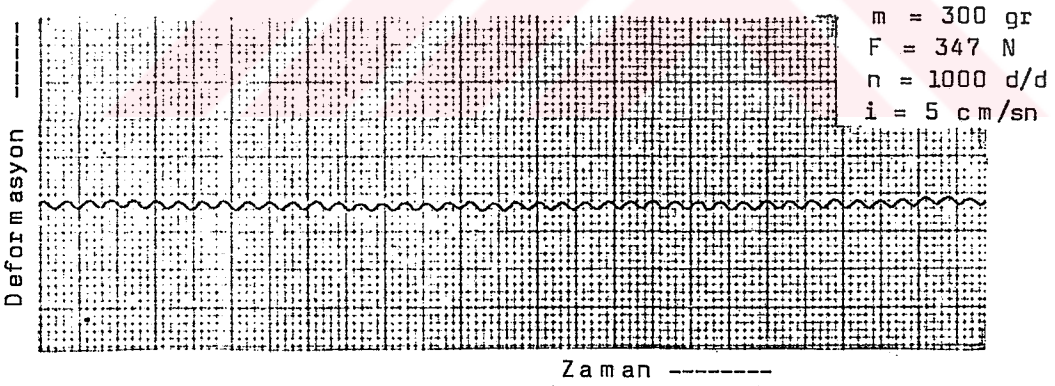
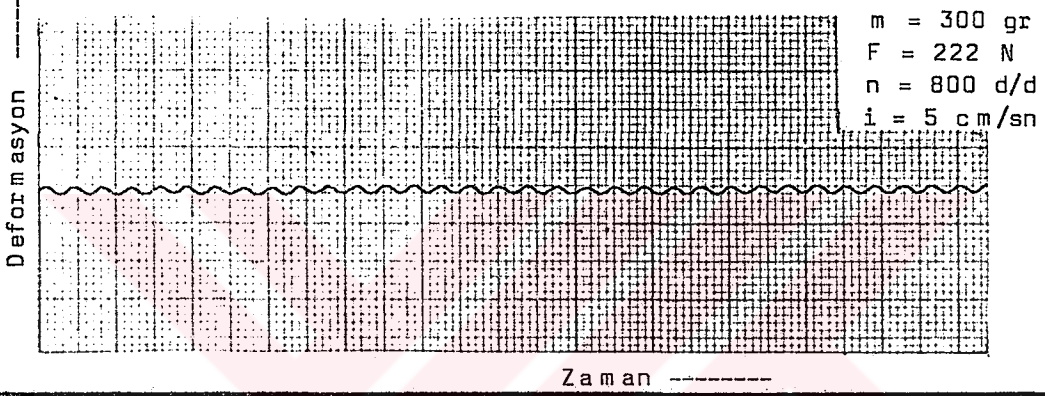
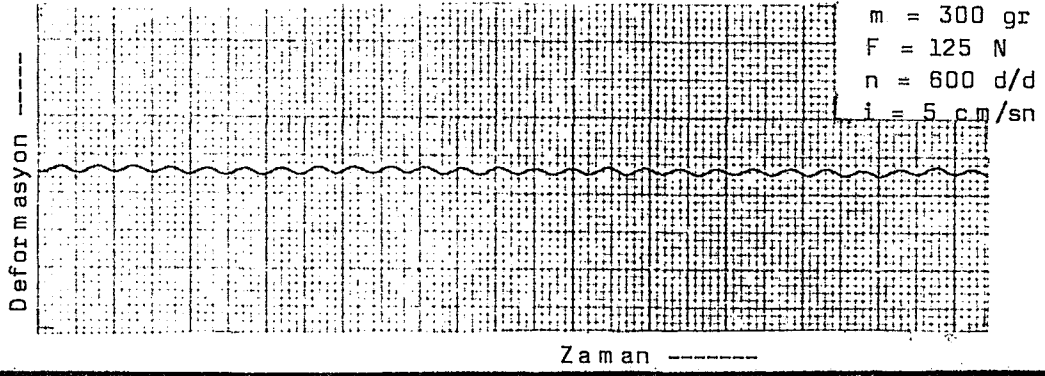
Gerek sabit kütle, gerekse sabit kuvvet ile yapılan deneylerde polimer beton gövdedeki şekil değiştirmelerin daha düşük olduğu gözlenmiştir. Polimer betonun yüksek sönümü bu sonucu doğurmuştur.

Gürültü seviyesi, mil devrinin artmasıyla birlikte artmaktadır. Tahrik grubundaki devrin artmasıyla daha şiddetli titreşimler meydana gelmekte, yüksek sönümünden dolayı, polimer betondaki gürültü seviyesi, ölçülen üç devirde de yaklaşık 2 dBA kadar daha düşük kalmıştır.

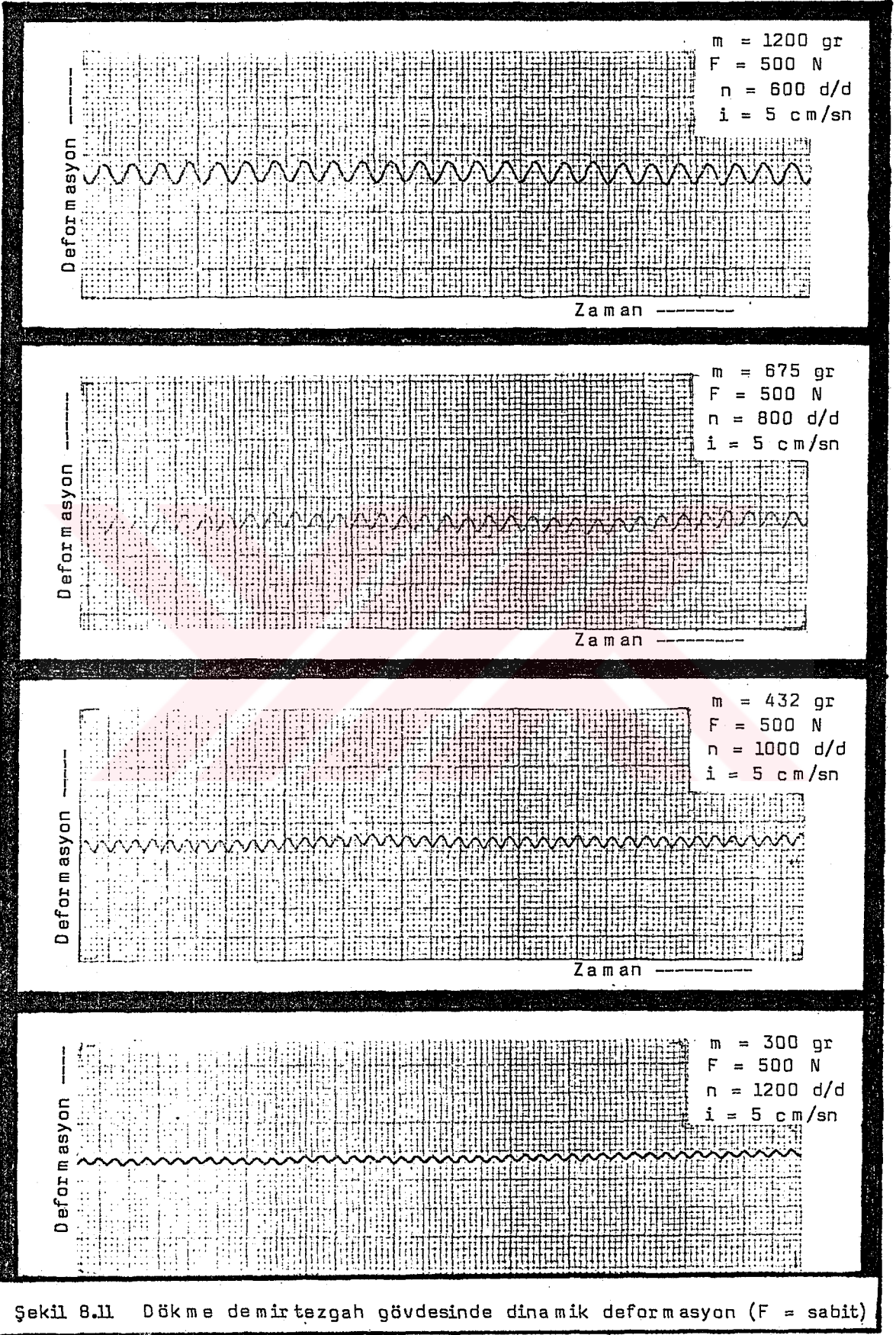
Her iki gövdenin statik kuvvet altındaki şekil değiştirmeleri yaklaşık olarak birbirine eşit değerdedir. Bu sonuç da gerilme-deformasyon bağıntıları ile yapılan hesaplamalarla aynı doğrultudadır.



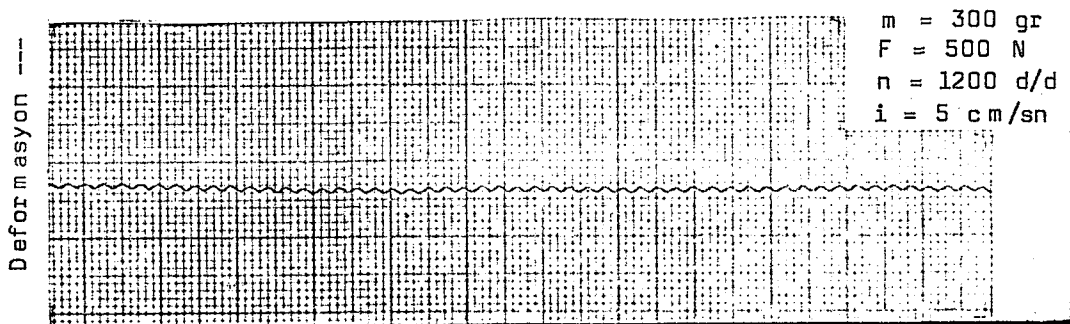
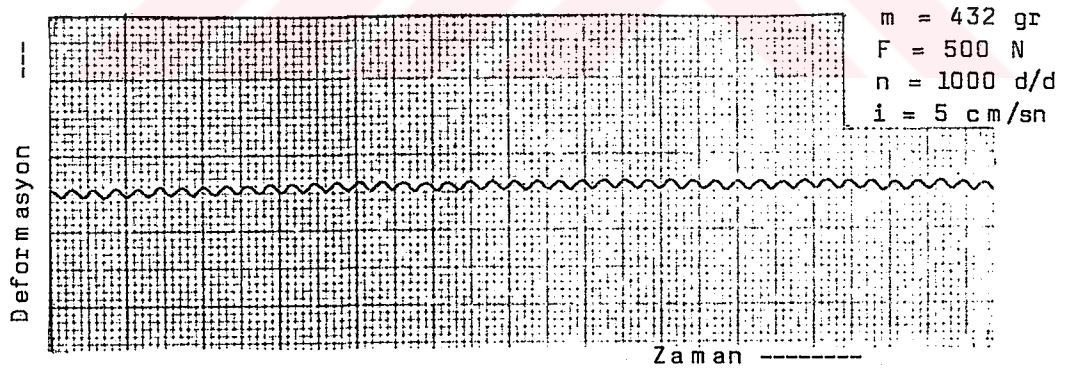
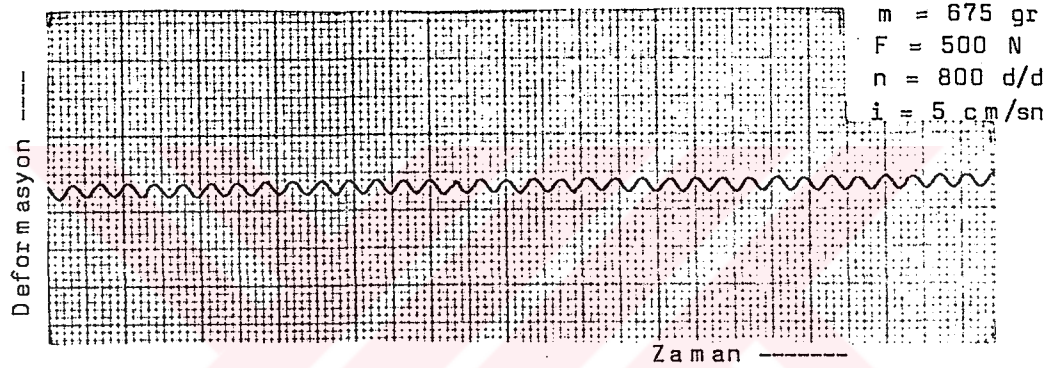
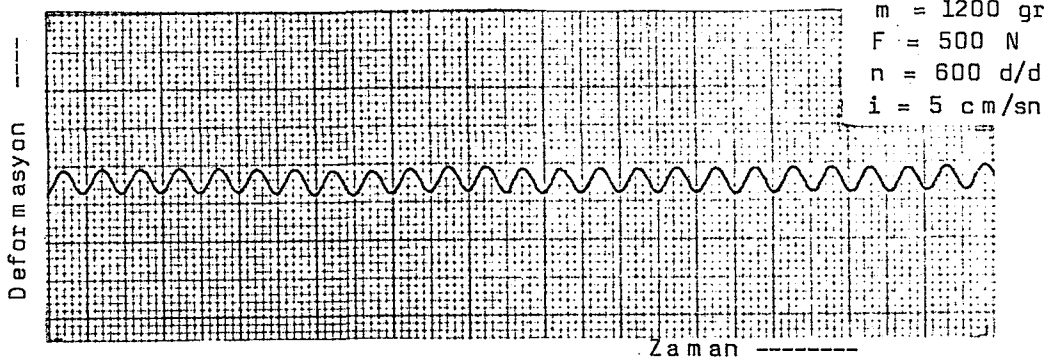
Şekil 8,9 Dökme demir tezgah gövdesinde dinamik deformasyon (m =sabit)



Şekil 8.10 Polimer beton tezgah gövdesinde dinamik deformasyon (m =sabit)



Şekil 8.11 Dökme demir tezgah gövdesinde dinamik deformasyon ($F = \text{sabit}$)



Şekil 8.12 Polimer beton tezgah gövdesinde dinamik deformasyon (F =sabit)

BÖLÜM 9

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Takım tezgahları üzerinde yapılan araştırma çalışmaları iki ayrı yönde yoğunlaşmaktadır.

1. Makina kumandasında giderek artan otomatikleşme,
2. Tezgah gövdelerinin modern kesici malzemelere yedürülmesi.

İkinci şart, alışlagelmiş yapı malzemesi olan dökme demir ve çelik kaynak konstrüksiyonlarına karşı polimer betonla daha kolay karşılanabilir. Uygun polimer harcı ve konstrüksiyonu ile üretilen tezgah gövdesi, alternatiflerine göre avantaj sağlayacaktır :

a)- Polimer betonun tezgah gövdesinde kullanımına uygun üç çeşit suni reçine vardır : 1. Metakrilat reçinesi, 2. Epoksi reçinesi, 3. Doymamış poliester reçinesi. Bu çalışmada, poliester reçinesi, fiyatının ucuzluğu, kolay temin edilmesi ve tezgah gövdesinde kullanımı ile ilgili araştırmaların azlığı nedenleriyle tercih edilmiştir. Doymamış poliester reçinesinin kullanımı ile imal edilen tezgah gövdesinin sönümlenme ve rijitlik özellikleri araştırılmış ve sonuçlar değerlendirildiğinde doymamış poliester reçinesinin gövde üretiminde kullanılabilir uygun bir polimer olduğu görülmüştür.

b)- Ekonomik nedenlerle polimer beton üretiminde kullanılan reçine miktarının az olması istenir. Bunu sınırlayan faktör ise mukavemet değerleridir. Yapılan basma deneyi sonuçlarına göre %20 polimer (poliester) oranı ile 1000daN/cm² ye kadar dayanım sağlanmaktadır. Hassasiyet icap ettiren konvansiyonel tezgahlardaki gerilmenin , 100 daN/cm² yi aşmaması istenmektedir. Boyutlandırma bu koşul önemli rol oynamaktadır. % 20 poliester oranı ile üretilen polimer betonun mukavemet değeri bu sınırın çok üzerinde olduğundan, basma gerilmeleri ile zorlanan tezgah gövdeleri için uygun bir malzemedir. Çekme gerilmesi ile yüklenen tezgah gövdelerinde ise gerekli konstrüktif tedbirler alınmalıdır.

c)- Polimer beton harcının dökümü esnasında, güçlü bir vibrasyon sağlamak suretiyle harç içindeki hava kabarcıklarının , jelleşme başlamadan , dışarı atılması sağlanmalıdır. Bu yapılamadığı takdirde polimer betondan yüksek mukavemet beklenmemelidir.

d)- Üretim esnasında polimer betonda oluşan iç gerilmelerin ve sonradan meydana gelebilecek deformasyonların önüne geçilmelidir. Bu nedenle gövde, üre-

timi esnasında veya sonradan, ortam sıcaklığının 40°C üzerindeki bir sıcaklığa kadar kontrollü olarak ısıtılıp, sonra tekrar kontrollü olarak soğutulmalıdır. Yapılan ısıtma işlemi gövdenin, mukavemetindeki artıştan daha önemli olarak, dengeli hale gelmesi sağlanmış olacaktır.

Yapılan çalışmalardan elde edilen ve sonuçları yukarıda verilen birikimlerin takım tezgahı gövde konstrüksiyonunda uygulanması ile genel olarak şu üstünlükler sağlanmış olacaktır :

1. Tasarım yönünden

- Konstrüksiyonda daha özgür düzenleme imkanı (beton dökümünün oda sıcaklığında gerçekleştirilmesi ve bir çok şekilde yardımcı materyal kullanabilme olanağı),
- Beton dökümünün , sıvı demir dökümünden daha iyi olması nedeniyle karmaşık parçaların daha kolay üretimi,
- Dökme demir gövdedeki kaburgalar yerine dolu kesitlerin kullanımı ile daha basit konstrüksiyon olanağı.

2. Maliyet yönünden

- Üretim prosesinin basitleştirilmesiyle daha az işleme masrafı,
- Polimer betonun dökümünden piyasaya arzına kadar geçen sürenin azlığı nedeniyle envanter masraflarının düşmesi,
- Daha küçük işletme kapasiteleri ile sağlanan daha yüksek üretim kapasitesi,
- Üretiminde enerji gereksiniminin azlığından dolayı sağlanan tasarruf.

3. Teknik yönden

- Polimer döküm tekniğinin kolay teknoloji olması,
- Daha yüksek sönümlenme özelliklerine sahip olan polimer betondan üretilen makinaların daha iyi performansı,
- Titreşim genliklerini düşürerek, üzerinde çalışan, makina parçalarının ömrünün uzatılması,
- Gürültü seviyesini düşürmesiyle insan sağlığına olan olumsuz etkinin azaltılması,
- Çevre sağlığını tehdit etmeden üretilebilmesi.

Bu üstünlükleri ile polimer beton, takım tezgahı gövdesi imalatında dök-

me demir ve elik konstrüksiyonlar yerine kullanılabilir alternatif bir malzeme-
dir. Tezgah üretici ve kullanıcıların bu olaya, konuya ilişkin bilgi birikiminin az-
lığı ve yeni bir teknoloji olması nedenleriyle sıcak bakmadıkları görülmektedir.
Polimer teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak günümüzde devam eden ve ge-
lecekte yapılacak araştırmalar, polimer betonun tezgah gövdesinde kullanımını
ön plana çıkaracaktır.

Fakültemizde sınırlı laboratuvar imkanlarıyla yaptığımız bu çalışmaya ilave
olarak :

- 1)- Ölçümlerde daha hassas cihazların, bilhassa titreşim ölçümlerinde ivme
ölçer kullanılması,
- 2)- Sıcaklığın , tezgah gövdesinin performansı üzerine etkisi,
- 3)- Tezgah gövdesinin imalatında farklı reçine tiplerinin kullanımı,
- 4)- Polimer emdirilmiş betonun, tezgah gövdelerinin yapı malzemesi olup
olamayacağı konularında yapılacak araştırma çalışmalarıyla gereksinim duyulan
bilgi birikimine ilave veriler kazandırılabilir.

K A Y N A K Ç A

1. **Pişkin, E.**, Polimer Teknolojisine Giriş, İstanbul, İnkilâp kitabevi, 1987.
2. **Akman, S.**, Yapı Malzemeleri, İstanbul, İTÜ , 128-154, 1985.
3. **Demirci, H.**, Plastik Malzeme Teknolojisi I, İzmir, Dokuz Eylül Üniv. Müh.-Mimarlık Fak., 1984.
4. **Kaya, F.**, Plastik Katkı Maddeleri ve İşletme Metodları, İstanbul, Kipaş Dağıtım-cılık, 1983.
5. **Anık, S., Anık, E.**, Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, İstanbul, Birsenkitabevi,1977
6. **Dieter, G.**, Mechanical Behaviour of Polymeric Materials, Mechanical Metal-lurgy, Tokyo, Mc Graw-Hill, 292-325, 1976.
7. **Çiğdemoğlu, M.**, Teknolojide Plastikler, Ankara, Makina Müh. Odası, 1971.
8. **Kruger, D.**, Recent developments in the use of polimer concrete, Materials and Society, vol.9, no 3, 371-380, 1985.
9. **Yeter, F., Tuğlu, P., Gündüz, G.**, Polimer betonun hazırlanması ve özellikleri, 3. Ulusal Metalurji Kongresi, Ankara, ODTÜ, 829-836, 1979.
10. **Schulz, H., Nicklau, G.**, Konstruktives gestalten von werkzeugmaschinengestel-len aus polymerbeton, Werkstatt und Betrieb, 115, 311-317, 1982.
11. **Ohama, Y.**, Recent development of polymer concrete in japan, Stand der Ent-wicklung.
12. Austria Steel Buildings Bausysteme, Plant for the production of polymer conc-crete products, ASB.
13. **Renker, H.**, Stone -based structural materials, Precision Engineering, vol. 7, no 3. 1985.
14. **Enke, C.**, Polymerbeton im maschinenbau : Neuere ergebnisse aus forschung und Praxis, Die Maschine, vol.6, 25-26, 1984.

15. **Kreis, R.**, Short curing times for the polymer concrete, Technodigest.
16. **Tanner, H.**, Polymerbeton im werkzeugmaschinenbau, Studer.
17. **Haferkamp, H., Nolte, K.**, Kunststoffe im maschinenbau, İzmir, DEÜ, 1980.
18. **Çakar, İ.**, CTP malzeme üretiminde kullanılan yardımcı maddeler ve önemi, İstanbul, Poliya.
19. **Çakar, İ.**, Poliesterlerin uygulama yöntemleri, İstanbul, İlkester reçine sa. A.Ş
20. **Kreis, R., Nicklau, G.**, Grundlagen - und Anwendungsforschung über bauelemente aus polymerbeton, Industrie anzeiger, no 17, vol. 2, 48-52, 1983.
21. **Vipulanandan, C., Dharmarajan, N.**, Flexural behaviour of polyester polymer concrete, Cement and Concrete Research, vol.17, 219-230, 1987.
22. **Kamal, M., Tawfik, S., Nosseir, M.**, Polyester mortar, Journal of Applied Polymer Science, vol 33, 1609-1622, 1987.
23. **Hornikel, T.**, Polyester resin as a binder for concrete and artificial stone, Kunststoffe im Bau, vol.6, 1974.
24. **Stawowy, J.**, Schwingungsarm eingestellter polymerbeton auf polyesterharzbasis und die sich daraus ergebenden möglichkeiten der bewehrung, Darmstadt, Hüls AG, 1984.
25. **Möller, H., Gleich, D., Lamminger, M.**, Polybetonrohre-Herstellung und anwendung, Beton und Stahlbetonbau, 64. Jahrgang, Heft 5, 1969.
26. **Haddad, M., Fowler, D., Paul, D.**, Factors affecting the curing and strength of polymer concrete, ACI journal, 80, September, 396-402, 1983.
27. **Groche, F.**, Materialeigenschaften und anwendungsmöglichkeiten von polymerbeton.
28. **Haque, E., Armeniades, C.**, Montmorillonite polymer concrete : Zero-shrinkage and expanding polymer concrete with enhanced strength, Polymer Engineering and Science, vol.26, no 21, 1524-1530, 1986.

29. Schulz, H., Dey, H., Verhalten von reaktionsharzbetonbauteilen am modell simulierbar ?, Werkstatt und Betrieb, 121, 5, 367-369, 1988.
30. Özgüven, N., Endüstriyel Gürültü Kontrolü, Ankara, Makina Müh. Odası 1985.
31. Demirgüç, Z., Makina Dinamiği Ders Notları, 1979.
32. Goodman, L., Material damping and slip damping, Shock and Vibration Handbook, Newyork , McGrow-Hill, 1-27, 1976.
33. Tahralı, N., Makina titreşimleri ve nominal enerji kayıplarının hesabı, Yıldız Üniversitesi Dergisi, no 1, 43-50, 1986.
34. Marin, J., Damping properties, Mechanical Behaviour of Engineering Materials, New Delhi, Prentice-hall of India Ltd, 1966.
35. Tanrıyar, H., Tezgah titreşiminde kararlılık sınırını etkileyen etkenlerin değerlendirilmesi, doktora tezi, İTÜ, Makina Fakültesi, 1979.
36. Kantaroğlu, E., İmalat Mühendisliği, Ankara, Makina Müh. Odası, 1987.
37. Arpacı, M., Dinamik absorberlerle titreşim kontrolü, doktora tezi, İTÜ, Makina Fakültesi, 1983.
38. Akün, F., Takım Tezgahları, Cilt II, İstanbul, İTÜ, Makina Fak. 1973.
39. Akkurt, M., Nümerik Kontrollü Tezgahlar ve Sistemler, İstanbul, 1986.
40. Schulz, H., Reaktionshorzbeton im werkzeugmaschinenbau, Industrie anzeiger, no 21, vol.14, 41-42, 1986.
41. Krause, J., Dey, H., Maschinenteile aus polymerbeton, Sonderdruck aus Maschine+werkzeug, 13, 1984.
42. Enke, C., Polymerbeton ersetzt stahlbeton und grauguß im maschinenbau.
43. Krause, J., Reaktionare alternative : Beton statt guß oder stahl, Techno-tip, no 11, 1987.

44. **Fischer, G.**, Machine support from polymer concrete, patent, CH833272, 1986
45. **Chung, S., Tsutsumi, M., Ito, Y.**, Dynamic characteristics of lathe using concrete bed, Bulletin of JSME, vol.28, no 239, 987-993, 1985.
46. **Salje, V., Gerloff, H.**, Werkzeugmaschinenestelle aus grauguß oder polymerbeton, Konstruktion, 128, no 15, 595-602, 1986.



B İ Y O G R A F İ

Serdar Saylan, 1961 yılında Balıkesir'de doğmuştur. İlk ve orta öğrenimini aynı şehirde, sırasıyla Mehmetçik İlkokulu, Karesi Ortaokulu ve Balıkesir Lisesinde tamamlamıştır. 1978 yılında B.D.M.M.A. Makina bölümünde yüksek öğrenimine başlamış ve 1982 yılında mezun olmuştur. 1982-1984 yılları arasında, İTÜ 'de konstrüksiyon dalında yüksek lisans öğrenimini yapmıştır. 1983 yılında Uludağ Üniversitesi Balıkesir Mühendislik Fakültesine araştırma görevlisi olarak girmiştir. 1985' de askerlik görevini tamamladıktan sonra tekrar aynı göreve dönmüştür. Halen aynı fakültede öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır.