

33968



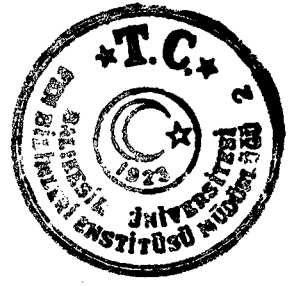
T.C.  
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**EPOKSİ POLİMER BETONUN  
MAKİNA YAPI MALZEMESİ OLARAK  
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

**Ergun ATEŞ**  
Mak.Yük.Müh.

BALIKESİR, Eylül 1994



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

**EPOKSİ POLİMER BETONUN  
MAKİNA YAPI MALZEMESİ OLARAK  
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

DOKTORA TEZİ

**Ergun ATEŞ**  
Mak.Yük.Müh.

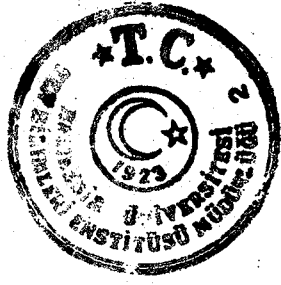
Sınav Günü: 16.12.1994

Jüri Üyeleri : Prof.Dr.Ing. A. Naci OTMANBÖLÜK (BA.Ü)

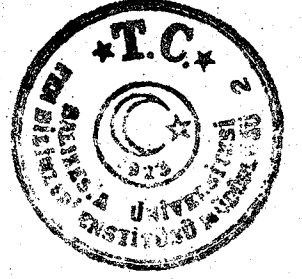
Prof.Dr.Ing. Fatih C. BABALIK (U.Ü)

Yard.Doç.Dr. M. Nedim GERGER (Danışman, BA.Ü)

BALIKESİR, Eylül 1994



Bu çalışmanın gerçekleşmesinde değerli yardımlarını ve teşviklerini esirgemeyen Hocam Yard.Doç.Dr. M. Nedim GERGER'e, laboratuvar çalışmalarım sırasında ve tezin yazımında sağladıkları destek ve yardımlarından dolayı, çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

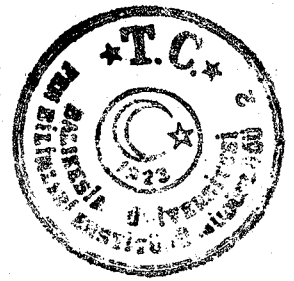


## ÖZET

Bu çalışmada, polimer betonun makina yapım malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Yapım malzemesi olarak kullanılacak malzemelerin mekanik özelliklerinin ve sönüm değerlerinin yüksek olması gereği, polimer beton için de geçerlidir. Bu nedenle, öncelikle polimer beton üzerinde yapılmış çalışmalar ve elde edilmiş sonuçlar araştırılmıştır. Bu bilgiler ve amaçlanan hedef doğrultusunda, öncelikle polimer beton için malzeme bileşenleri belirlenmiştir. Bu malzeme bileşenleriyle farklı tane büyüklükleri dolgu malzemeleri grupları ve bağlayıcı oranlarındaki numunelerin; basma, eğilme eğilme-yorulma ile sönüm deneyleri, bu deney yöntemlerine uygun şekilde hazırlanmış numuneler kullanılarak yapıldı. Yorulma deneylerinde, özellikle metal malzemelerin yorulma deneyleri esas alınarak, yapım malzemesi olarak düşünülen polimer beton numuneler döner eğilme gerilmeli yorulma deneyleri tarzında yapılmıştır.

Literatür araştırması sonuçlarında da belirgin olarak verilmiş olan takım tezgah gövdesi şeklinde kullanılabilirliği yanında, deneyler sonucu mekanik özellikleri ve çok iyi olan sönüm özellikleriyle de birçok alanda geleneksel yapım malzemelerine alternatif olarak kullanılabilmesi görülmüştür.



## ZUSAMMENFASSUNG

In der Arbeit wurde es studiert, ob der Reaktionsharzbeton als Werkstoff für die Herstellung Maschinenelemente verwendbar ist. Dass die mechanische Eigenschaften und der Daempungsgrad dieser Werkstoffe höher sein sollten, ist es auch für den Reaktionsharzbeton gültig.

Daher wurden zunaechst der Stand der Technik und die Untersuchungsergebnisse aus Literatur gewonnen. Aus dem Studium wurde die für die Herstellung der Maschinenteile verwendbare Zusammensetzung des Reaktionsharzbetons festgestellt. Mit der Zusammensetzung des Reaktionsharzbetons wurden unterschiedliche Korngrößen und Bindemitteln sowie Füllstoffe variiert. Dabei wurden mechanische Eigenschaften des Reaktionsharzbetons, wie z.B die Druck-, Biegefestigkeit und die Dauerschwingfestigkeit sowie der Daempungsgrad festgestellt. Bei der Untersuchungen wurden die Prüfverfahren für beton herangezogen, für die Auswahl geeigneter Prüfverfahren zur Messung der Dauerbiegefestigkeit war das Prüfverfahren für Stahl in Frage gekommen.

Neben der Feststellung aus Literatur, dass der Reaktionsharzbeton für die Werkzeugmaschinengestelle geeignet ist, wurde es aus der Arbeit festgestellt, dass der Reaktionsharzbeton auch für die Herstellung der Maschinenelemente nach der Untersuchungsergebnisse als ein alternatives Werkstoff geeignet ist.



## ŞEKİL LİSTESİ

2.1 Test sıcaklığı ile eğilme mukavemetinin değişimi	6
2.2 Sportun statik rijitliğinin ölçümü	9
2.3 Reçine oranı ve sıcaklığa bağlı olarak elastisite modülü değişimi	10
2.4 Reçine oranı ve sıcaklığa bağlı olarak basma mukavemeti değişimi	10
2.5 Reçine oranı değişimiyle bağımlı sürünme	11
2.6 Polimer beton ve dökme demir malzemelerde sıcaklık-uzama ilişkisi	11
2.7 Metakülat reçineli polimer beton için Wöhler eğrileri	12
2.8 Çekme-basma mukavemeti ilişkisi	13
2.9 Elastisite modülü-basma mukavemeti ilişkisi	13
2.10 Gerilme-uzama ( $\sigma/R_c - \rho_c$ ) ilişkisi	13
2.11 Gövdelerin gürültü seviyeleri	15
2.12 Torna gövdelerinin gürültü spektrumları	16
2.13 Torna gövdelerinin ivme spektrumları	16
2.14 Ölçme yapısı	18
2.15 Gövdede ölçüm noktalarında zaman-sıcaklıktaki artış ilişkisi	19
2.16 Isı kaynağı etkisinde zamanla kızak yükseltilerinde şekil değişimi	19
2.17 PC sisteminde MMT'nin % ağırlık miktarıyla eğilme mukavemeti değişimi	20
2.18 MMT-PC numune yoğunluğu ile basma mukavemeti değişimi	21
2.19 Termomekanik analiz	21
2.20 Epoksi polimer betonda eğilme yorulma dayanımı	22
2.21 Farklı reçineli polimer beton numunelerin Wöhler eğrisi	23
2.22 Farklı reçineli polimer beton numunelerde sürünme	23
2.23 Polimer beton numunelerde basma mukavemeti-sıcaklık değişimi	24
2.24 Polimer beton numunelerde eğilme mukavemeti-sıcaklık değişimi	25
2.25 Granit ve dökme demir esaslı gövdelerde eğilme-frekans ilişkisi	25
2.26 Çekme zorlaması etkisinde polimer betonda sürünme	26
2.27 Epoksi reçineli polimer betonda çekme zorlaması etkisinde Wöhler eğrisi	26
2.28 Polimer betonda reçine oranı-mukavemet değişimi	26
2.29 Poliester harcın basma mukavemetine polimer/agrega oranının etkisi	28
2.30 Poliester harcın eğilme mukavemetine polimer/agrega oranının etkisi	29
2.31 Poliester harcın basma ve eğilme mukavemeti ilişkisi	29
2.32 Farklı sıcaklık ve polimer oranlarında epoksi polimer betonun mukavemeti	31
2.33 Farklı sıcaklıklardaki polimer betonun sürünmede uzama-zaman ilişkisi	32

## VIII

2.34	Polimer betonun basma mukavemeti–sertleşme süresi değişimi	33
2.35	Polimer betonun basma mukavemeti– sıcaklık değişimi	34
2.36	Portland çimento betonun basma mukavemeti–sertleşme süresi değişimi	34
2.37	Uzunluk/çap oranı–basma mukavemeti değişimi	35
2.38	Yapıda % boşluk miktarıyla–elastisite modülü değişimi	36
2.39	Yapıda % boşluk miktarıyla–basma mukavemeti değişimi	36
3.1	Termoplastiklerin genel formu	41
3.2	Elestomerlerin genel formu	43
3.3	Fenol ve formaldehitin polikondenzasyonu	47
3.4	Etilenin polimerizasyonu	48
3.5	Diol ve disokyanatın poliadisyonu	49
3.6	Gerilmenin uzama hızı ile ilişkisi	51
3.7	Gerilme–uzama eğrisi	53
3.8	Sürünme modülü	53
3.9	Yorulma eğrileri	54
4.1	Sertleştirilmiş betonlarda yapı	62
4.2	Çimento betonu ve polimer betonda yapı	62
4.3	Epoksi reçine	65
4.4	Poliester reçine	67
4.5	Polimetilmetakrilat reçine	68
5.1	Yumuşak çelik ve gri dökümün çekme ile basmada gerilme–uzama diyagramı	77
5.2	Gri döküm malzemenin eğme deneyinde, eğme gerilmelerinin hesaplanabilen için etkileyen gerilmelerin numune kesitindeki dağılımı	78
5.3	Statik ve dinamik yükler	80
5.4	Yorulma kırılması	82
5.5	Eksenel çekme ve basma gerilmeleri uygulayan sabit gerilme genlikli cihaz	83
5.6	Numunenin dört noktasına kuvvet gelen ve dönen eğme gerilmeleri uygulanan "Schenk (Simplex)" modeli yorulma deney cihazı	83
5.7	Düzlemsel eğme gerilmesi uygulayan "Sonntag" modeli yorulma deney cihazı	83
5.8	Wöhler eğrisi	85
5.9	Sürekli mukavemet (SMITH) diyagramı	86
5.10	Eğilme, çeki–bası ve burulma zorlanmaları için Smith diyagramı	86
5.11	Malzemelerin gerilim–deformasyon histeresiz çevrimi	87
5.12	Titreşen bir sistemin en basit modeli	88
5.13	Sönümsüz serbest titreşimler	89
5.14	Kritik ve kritik üstü sönümlü sistemlerde serbest titreşimler	90

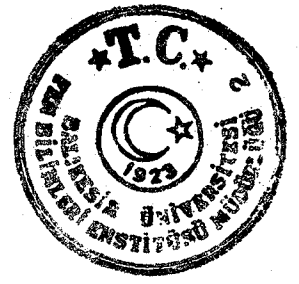
5.15	Kritik altı sönümlü sistemlerde serbest titreşimler .....	91
5.16	Zamanın fonksiyonu olarak sönümün belirlenmesi .....	93
5.17	Sönüm ölçütünün belirlenmesi .....	94
5.18	Wheatstone köprü devreleri .....	96
5.19	Elekler ve elek sarsma makinası .....	104
5.20	Tartı aleti .....	105
5.21	Etüv .....	106
5.22	Masa tipi vibratör cihazı .....	106
5.23	Gaz maskesi ve toz maskeleri .....	107
5.24	Maksimum tane büyüklüğü 8.0 mm olduğuna göre karışık agrega granülometri eğrileri .....	109
5.25	Basma, eğilme, yorulma ve sönüm deney numuneleri .....	115
5.26	Bağlayıcı oranına bağlı olarak mukavemetteki değişim .....	116
5.27	Basma deney numune kalıbı modelleri .....	117
5.28	Basma deney numune kalıbı boyutları .....	118
5.29	Eğilme, yorulma ve eğilme deney numune kalıp boyutları .....	118
5.30	Eğilme yorulma ve eğilme deney numune kalıpları .....	119
5.31	Sönüm deney numune kalıp boyutları .....	119
5.32	Sönüm deney numune kalıpları .....	120
5.33	Deney numune kalıpları tutucusu .....	121
5.34	Kalıplardan alınmış basma ve eğilme-yorulma deney numuneleri .....	122
5.35	Döküm sonrası kalıplar ve kalıplardan alınmış sönüm deney numuneleri	123
5.36	Basma deney makinası ve kontrol paneli .....	124
5.37	Eğilme deney setinin şematik gösterimi .....	125
5.38	Amsler eğilme yorulma makinası .....	126
5.39	Polimer beton numunelerin eğilme-yorulma deneyleri için imal edilmiş cihaz .....	127
5.40	Numuneye yük olarak etkilecek elemanlar .....	128
5.41	Numuneye yükün tesbitini sağlayan bağlama elemanları .....	128
5.42	Numunenin cihaza bağlantısını sağlayan flanşlar .....	129
5.43	Sönüm deney seti .....	130
5.44	Sönüm deney seti devre şemaları .....	131
5.45	Profil projektör .....	132
5.46.a	Reçine-dolgu oranı %14.3-%85.7 numunelerin "basma deneyi yük dağılımları" .....	136
5.46.b	Reçine-dolgu oranı %14.3-%85.7 numunelerin "basma deneyi yük dağılım ortalamaları" .....	136
5.47.a	Reçine-dolgu oranı %14.3-%85.7 numunelerin "basma deneyi gerilme dağılımları" .....	137



5.15	Kritik altı sönümlü sistemlerde serbest titreşimler .....	91
5.16	Zamanın fonksiyonu olarak sönümün belirlenmesi .....	93
5.17	Sönüm ölçütünün belirlenmesi .....	94
5.18	Wheatstone köprü devreleri .....	96
5.19	Elekler ve elek sarma makinası .....	104
5.20	Tartı aleti .....	105
5.21	Etüv .....	106
5.22	Masa tipi vibratör cihazı .....	106
5.23	Gaz maskesi ve toz maskeleri .....	107
5.24	Maksimum tane büyüklüğü 8.0 mm olduğuna göre karışık agrega granülometri eğrileri .....	109
5.25	Basma, eğilme, yorulma ve sönüm deney numuneleri .....	115
5.26	Bağlayıcı oranına bağlı olarak mukavemetteki değişim .....	116
5.27	Basma deney numune kalıbı modelleri .....	117
5.28	Basma deney numune kalıbı boyutları .....	118
5.29	Eğilme, yorulma ve eğilme deney numune kalıp boyutları .....	118
5.30	Eğilme yorulma ve eğilme deney numune kalıpları .....	119
5.31	Sönüm deney numune kalıp boyutları .....	119
5.32	Sönüm deney numune kalıpları .....	120
5.33	Deney numune kalıpları tutucusu .....	121
5.34	Kalıplardan alınmış basma ve eğilme-yorulma deney numuneleri .....	122
5.35	Döküm sonrası kalıplar ve kalıplardan alınmış sönüm deney numuneleri .....	123
5.36	Basma deney makinası ve kontrol paneli .....	124
5.37	Eğilme deney setinin şematik gösterimi .....	125
5.38	Amsler eğilme yorulma makinası .....	126
5.39	Polimer beton numunelerin eğilme-yorulma deneyleri için imal edilmiş cihaz .....	127
5.40	Numuneye yük olarak etkilecek elemanlar .....	128
5.41	Numuneye yükün tesbitini sağlayan bağlama elemanları .....	128
5.42	Numunenin cihaza bağlantısını sağlayan flanşlar .....	129
5.43	Sönüm deney seti .....	130
5.44	Sönüm deney seti devre şemaları .....	131
5.45	Profil projektör .....	132
5.46.a	Reçine-dolgu oranı %14.3-%85.7 numunelerin "basma deneyi yük dağılımları" .....	136
5.46.b	Reçine-dolgu oranı %14.3-%85.7 numunelerin "basma deneyi yük dağılım ortalamaları" .....	136
5.47.a	Reçine-dolgu oranı %14.3-%85.7 numunelerin "basma deneyi gerilme dağılımları" .....	137

5.47.b Reçine-dolgu oranı %14.3-%8.7 numunelerin "basma deneyi gerilme dağılım ortalamaları" .....	137
5.48.a Reçine-dolgu oranı %18-%82 numunelerin "basma deneyi yük dağılımları" .....	140
5.48.b Reçine-dolgu oranı %18-%82 numunelerin "basma deneyi yük dağılım ortalamaları" .....	140
5.49.a Reçine-dolgu oranı %18-%82 olan numunelerin "basma deneyi gerilme dağılımları" .....	141
5.49.b Reçine-dolgu oranı %18-%82 numunelerin "basma deneyi gerilme dağılım ortalamaları" .....	141
5.50.a Reçine-dolgu oranı %22-%78 numunelerin "basma deneyi yük dağılımları" .....	144
5.50.b Reçine-dolgu oranı %22-%78 olan numunelerin "basma deneyi yük dağılım ortalamaları" .....	144
5.51.a Reçine-dolgu oranı %22-%78 numunelerin "basma deneyi gerilme dağılımları" .....	145
5.51.b Reçine-dolgu oranı %22-%78 numunelerin "basma deneyi gerilme dağılım ortalamaları" .....	145
5.52.a Reçine-dolgu oranı %14.3-%85.7 numunelerin "eğilme deneyi yük dağılımları" .....	148
5.52.b Reçine-dolgu oranı %14.3-%8.7 numunelerin "eğilme deneyi yük ortalamaları" .....	148
5.53.a Reçine-dolgu oranı %14.3-%85.7 numunelerin "eğilme deneyi gerilme dağılımları" .....	149
5.53.b Reçine-dolgu oranı %14.3-%85.7 numunelerin "eğilme deneyi gerilme ortalamaları" .....	149
5.54.a Reçine-dolgu oranı %18-%82 numunelerin "eğilme deneyi yük dağılımları" .....	151
5.54.b Reçine-dolgu oranı %18-%82 olan numunelerin "eğilme deneyi yük ortalamaları" .....	151
5.55.a Reçine-dolgu oranı %18-%82 olan numunelerin "eğilme deneyi gerilme dağılımları" .....	152
5.55.b Reçine-dolgu oranı %18-%82 numunelerin "eğilme deneyi gerilme ortalamaları" .....	152
5.56.a Reçine-dolgu oranı %22-%78 numunelerin "eğilme deneyi yük dağılımları" .....	154
5.56.b Reçine-dolgu oranı %22-%78 olan numunelerin "eğilme deneyi yük ortalamaları" .....	154

5.57.a	Reçine–dolgu oranı %22–%78 numunelerin "eğilme deneyi gerilme dağılımları" .....	155
5.57.b	Reçine–dolgu oranı %22–%78 numunelerin "eğilme deneyi gerilme ortalamaları" .....	155
5.58	YI nolu numunelerin deneyleri sonucu elde edilmiş Wöhler eğrileri ...	158
5.59	YII nolu numunelerin deneyleri sonucu elde edilmiş Wöhler eğrileri ...	160
5.60	YIII nolu numunelerin deneyleri sonucu elde edilmiş Wöhler eğrileri ...	162
5.61	YIV nolu numunelerin deneyleri sonucu elde edilmiş Wöhler eğrileri ..	164
5.62	YV nolu numunelerin deneyleri sonucu elde edilmiş Wöhler eğrileri ..	166
5.63	YVI nolu numunelerin deneyleri sonucu elde edilmiş Wöhler eğrileri ..	168
5.64	YVII nolu numunelerin deneyleri sonucu elde edilmiş Wöhler eğrileri ..	170
5.65.a	S1 numunesinin sönüm eğrisi .....	172
5.65.b	S2 numunesinin sönüm eğrisi .....	172
5.65.c	S3 numunesinin sönüm eğrisi .....	173
5.66.a	S4 numunesinin sönüm eğrisi .....	174
5.66.b	S5 numunesinin sönüm eğrisi .....	174
5.66.c	S6 numunesinin sönüm eğrisi .....	175
5.67.a	S7 numunesinin sönüm eğrisi .....	176
5.67.b	S8 numunesinin sönüm eğrisi .....	176
5.67.c	S9 numunesinin sönüm eğrisi .....	177
5.68	Dökme demirin sönüm eğrisi .....	178
5.69	Basma mukavemetinin % bağlayıcı oranı ile değişimi .....	180
5.70	Basma mukavemetinin gruplara göre değişimi .....	180
5.71	Eğilme mukavemetinin % bağlayıcı oranı ile değişimi .....	182
5.72	Eğilme mukavemetinin gruplara göre değişimi .....	182
5.73	Grupların gerilme genliği–yük tekrar sayıları değişimi .....	183



## TABLO LİSTESİ

2.1	Farklı reçineli polimer betonların mekanik ve fiziksel özellikleri	5
2.2	Farklı döküm sıcaklıklarında BzP/DMPT oranları	6
2.3	Farklı sıcaklıkta dökülmüş numunelerin mukavemet değerleri	7
2.4	Farklı agrega tiplerine göre polimer beton malzemelerin özellikleri	7
2.5	Farklı malzemelerden yapılmış sportların testleri	8
2.6	Polimer betonların mekanik özellikleri	14
2.7	Polimer betonların kimyasallara direnci	15
2.8	Malzemenin özellikleri	17
2.9	Malzemelerin özellikleri	18
2.10	Farklı reçineli polimer beton numunelerde elastisite modülü	24
2.11	Reçinelerin özellikleri	27
2.12	Polimer betonların özellikleri	27
2.13	Poliester harcın büzülme ve elastisite modülü	30
2.14	Reçineli harçların mekanik özellikleri üzerine H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> etkisi	30
2.15	Polimer beton ve dökme demirin özellikleri	35
2.16	Polimer betonun bağlayıcı ve dolgu malzemesi oranları	35
2.17	Polimer betonun özellikleri	37
3.1	Termoplastikler	42
3.2	Termosetler	42
3.3	Elestomerler	43
3.4	Doğal polimerler	44
4.1	Beton-polimer kompozitlerinin malzeme bileşenleri ve yapısı	58
4.2	Reçinelerin karakteristik özellikleri	66
5.1	Farklı bağlayıcı harçların mekanik dayanımları	99
5.2	Farklı bağlayıcı epoksi harçların pota ömürleri	100
5.3	Epoksi reçinenin özellikleri	101
5.4	Kemikleşme ajanının özellikleri	102
5.5	Tartı aleti özellikleri	105
5.6	Gaz maskesi özellikleri	107
5.7	Toz maskesi özellikleri	108
5.8	Deneysel çalışmada kullanılmak üzere seçilmiş olan 7 grubun "elekten alta geçen % miktarları".	110
5.9	Dolgu malzemelerinin maksimum büyüklükleriyle bağımlı deney numune boyutları	111
5.10	Test için uygun deney numune boyutlarının seçimi	112
5.11	Farklı malzemeler için basma deney numuneleri	113
5.12	Basma deney makinasının özellikleri	124

5.13	Eğilme yorulma makinası özellikleri	127
5.14	X-Y Elektronik yazıcı özellikleri	130
5.15	Strain indikatör özellikleri	130
5.16	Çalışmada kullanılan "strain gauge" lerin özellikleri	131
5.17	Profil projektör özellikleri	132
5.18	Reçine-dolgu malzemeleri oranı; %14.3 - %85.7 olan numunelerin basma deney sonuçları	135
5.19	Reçine-dolgu malzemeleri oranı; %18 - %82 olan numunelerin basma deney sonuçları	139
5.20	Reçine-dolgu malzemeleri oranı; %22 - %78 olan numunelerin basma deney sonuçları	143
5.21	Reçine-dolgu malzemeleri oranı; %14.3 - %85.7 olan numunelerin eğilme deney sonuçları	147
5.22	Reçine-dolgu malzemeleri oranı; %18 - %82 olan numunelerin eğilme deney sonuçları	150
5.23	Reçine-dolgu malzemeleri oranı; %22 - %78 olan numunelerin eğilme deney sonuçları	153
5.24	YI nolu grubun yorulma deneyi ile elde edilmiş yük tekrar sayıları	157
5.25	YII nolu grubun yorulma deneyi ile elde edilmiş yük tekrar sayıları	159
5.26	YIII nolu grubun yorulma deneyi ile elde edilmiş yük tekrar sayıları	161
5.27	YIV nolu grubun yorulma deneyi ile elde edilmiş yük tekrar sayıları	163
5.28	YV nolu grubun yorulma deneyi ile elde edilmiş yük tekrar sayıları	165
5.29	YVI nolu grubun yorulma deneyi ile elde edilmiş yük tekrar sayıları	167
5.30	YVII nolu grubun yorulma deneyi ile elde edilmiş yük tekrar sayıları	169
5.31	S1, S2, S3 numuneleri sönüm eğrilerinin inceleme sonuçları	173
5.32	S4, S5, S6 numuneleri sönüm eğrilerinin inceleme sonuçları	175
5.33	S7, S8, S9 numuneleri sönüm eğrilerinin inceleme sonuçları	177



# İÇİNDEKİLER

ONAY .....	III
ÖNSÖZ .....	IV
ÖZET .....	V
ZUSAMMENFASSUNG .....	VI
ŞEKİL LİSTESİ .....	VII
TABLO LİSTESİ .....	XII
İÇİNDEKİLER .....	XIV
<b>Bölüm 1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>Bölüm 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>3</b>
<b>Bölüm 3. POLİMER MALZEMELER .....</b>	<b>39</b>
3.1 Tarihsel Gelişim .....	39
3.2 Tanımlama ve Sınıflandırma .....	40
3.2.1 Termoplastikler .....	41
3.2.2 Termosetler .....	41
3.2.3 Elastomerler .....	43
3.2.4 Doğal Polimerler .....	43
3.3 Polimer Teknolojisinde Hammaddeler .....	44
3.4 Polimerlerin Yapısı .....	44
3.4.1 Bağlar ve Zincir Uzunluğunun Etkisi .....	44
3.4.1.1 Birincil Bağlar .....	44
3.4.1.2 İkincil Bağlar .....	45
3.4.2 Moleküller Arası Düzen .....	45
3.4.2.1 Amorf Yapı .....	46
3.4.2.2 Kristalin Yapı .....	46
3.4.2.3 Yönlenmiş Yapı .....	46
3.4.3 Polimerlerin Molekül Ağırlığı .....	46
3.4.4 Makro Molekülleri Oluşturan Kimyasal Reaksiyonlar .....	47
3.4.4.1 Polikondenzasyon .....	47
3.4.4.2 Polimerizasyon .....	48
3.4.4.3 Poliadiasyon .....	49
3.4.5 Polimer Çözeltileri ve Jel Hali .....	49
3.5 Katkı Maddeleri .....	50
3.6 Polimerlerin Özellikleri .....	51
3.6.1 Mekanik Özellikler .....	51

3.6.1.1 Çekme Özellikleri	52
3.6.1.2 Gevşeme ve Sürünme	53
3.6.1.3 Yorulma	54
3.6.1.4 Sönüm	55
3.6.1.5 Çarpma Direnci	55
3.6.2 Isıl Özellikler	56
<b>Bölüm 4. POLİMER BETON</b>	<b>57</b>
4.1 Giriş	57
4.2 Beton Polimer Kompozitler	57
4.2.1 Çimento Betonu	58
4.2.2 Polimer Kompozitler	59
4.2.2.1 Polimer Çimento Betonu	59
4.2.2.2 Polimer Emdirilmiş Beton	60
4.2.2.3 Polimer Beton	61
4.3 Reçineler	63
4.3.1 Epoksi Reçine	64
4.3.2 Poliester Reçine	67
4.3.3 Polimetilmetakrilat Reçine	68
4.3.4 Reçineli Betonlar	69
4.4 Dolgu Malzemeleri	70
4.5 Tasarım	71
4.6 Kalıplar	71
4.7 Döküm	72
<b>Bölüm 5. DENEYSSEL ÇALIŞMA</b>	<b>75</b>
5.1 Çalışmanın Amacı	75
5.2 Deney Yöntemlerinin Belirlenmesi	76
5.2.1 Basma Dayanımı Deneyi	76
5.2.2 Eğilme Dayanımı Deneyi	77
5.2.3 Yorulma Dayanımı Deneyi	79
5.2.3.1 Yorulma Zorlanması ve Kırılma	79
5.2.3.2 Yorulma Deneyi Türleri ve Cihazları	82
5.2.3.3 Wöhler Eğrisi ve Smith Diyagramı	84
5.2.4 Sönüm Deneyi	87
5.2.4.1 Sönümlenme	87
5.2.4.2 Titreşimler	88
5.2.4.2.1 Sönümsüz Serbest Titreşimler	88
5.2.4.2.2 Sönümlü Serbest Titreşimler	90

5.2.4.2.3 Kuvvet Titreşimleri	92
5.2.4.3 Sönümün Belirlenmesi	93
5.2.4.4 Strain Gauge'ler	95
5.2.4.5 Wheatstone Köprü Devresi	96
5.2.4.6 Strain İndikatör	97
5.3 Yapı Malzemelerinin Belirlenmesi	97
5.3.1 Reçine Seçimi	97
5.3.1.1 Epoksi Reçine ve Sertleştirici	97
5.3.2 Dolgu Malzemesi Seçimi	102
5.3.2.1 Kuvarz	103
5.3.3 Kalıp Ayırıcı Seçimi	103
5.4 Deney Numunelerinin Hazırlanması	104
5.4.1 Numune Hazırlamada Gerekli Cihaz ve Ekipmanlar	104
5.4.2 Dolgu Malzemeleri	108
5.4.2.1 Dolgu Malzemesi Tane Büyüklüğünün Belirlenmesi	108
5.4.2.2 Dolgu Malzemesi Elek Analizi	110
5.4.3 Deney Numunelerinin Boyutlarının Belirlenmesi	111
5.4.3.1 Basma Deney Numuneleri	112
5.4.3.2 Dönen Eğilme Gerilmeli Yorulma ve Eğilme Deney Numuneleri	113
5.4.3.3 Sönüm Deney Numuneleri	114
5.4.4 Numune Boyutlarına Bağlı Bağlayıcı-Dolgu Malzemesi Miktarları	115
5.4.5 Kalıpların Hazırlanması	116
5.4.5.1 Basma Deney Numune Kalıbı	117
5.4.5.2 Eğilme Yorulma ve Eğilme Deney Numune Kalıpları	118
5.4.5.3 Sönüm Deney Numune Kalıbı	119
5.4.6 Deney Numunelerinin Dökümü	120
5.5 Deneysel Çalışmanın Yapılacağı Cihazlar	124
5.5.1 Basma Deney Makinası	124
5.5.2 Eğilme Deney Seti	125
5.5.3 Eğilme Yorulma Deney Cihazı	125
5.5.4 Sönüm Deney Seti	129
5.6 Deneylerin Yapılması ve Sonuçlar	133
5.6.1 Basma Deneylerinin Yapılması ve Sonuçları	133
5.6.1.1 Reçine-Dolgu Oranı % 14.3-% 85.7 Olan Numunelerin Basma Deney Sonuçları	134



5.6.1.2	Reçine-Dolgu Oranları %18-%82 Olan Numunelerin Basma Deney Sonuçları .....	138
5.6.1.3	Reçine-Dolgu Oranları %22-%78 Olan Numunelerin Basma Deney Sonuçları .....	142
5.6.2	Eğilme Deneylerinin Yapılması ve Sonuçları .....	146
5.6.2.1	Reçine-Dolgu Oranı %14.3-%85.7 Olan Numunelerin Eğilme Deney Sonuçları .....	147
5.6.2.2	Reçine-Dolgu Oranı %18-%82 Olan Numunelerin Eğilme Deney Sonuçları .....	150
5.6.2.3	Reçine-Dolgu Oranı %22-%78 Olan Numunelerin Eğilme Deney Sonuçları .....	153
5.6.3	Eğilme Yorulma Deneylerinin Yapılması ve Sonuçları ....	156
5.6.4	Sönüm Deneylerinin Yapılması ve Sonuçları .....	171
5.6.4.1	IV. Grup S1, S2, S3 Nolu Deney Numunelerinin Test Sonuçları .....	172
5.6.4.2	V. Grup S4, S5, S6 Nolu Deney Numunelerinin Test Sonuçları .....	174
5.6.4.3	VI. Grup S7, S8, S9 Nolu Deney Numunelerinin Test Sonuçları .....	176
5.6.4.4	Dökme Demir Deney Numune Test Sonuçları ...	178
5.7	Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	178
<b>Kaynaklar</b>	.....	<b>186</b>
<b>Özgeçmiş</b>	.....	<b>195</b>



# BÖLÜM 1

## GİRİŞ

Verimlilik, kullanılabilirlik, ekonomiklik ve güvenilirlik kavramlarıyla bütünleşerek süren teknolojik gelişmeler, günümüzde de çok farklı bilim alanlarında çok ayrıntılı araştırmalarla devam etmektedir.

Yeni bir ürünün, yeni bir makinanın veya mevcut bir makinanın belirli bir kısmını şimdiye kadar kullanılmamış bilgilerin uygulanması suretiyle geliştirilmesi ancak bilimin, pazarın ve üretimi belirleyen tüm faktörlerin değerlendirilmesi ve bunların en iyi şekilde koordinasyonu ile mümkündür.

Teknik gelişmeler belirlenen hedefe göre üç şekilde olabilir.

1. Yeni bir makinanın geliştirilmesi (yeni gelişme)
2. Gelişimin devamı
3. İyileştirme gelişimi

Yeni gelişim, tamamen yeni bir konstrüksiyon esasının oluşturulması, diğer bir ifade ile şimdiye kadar uygulanmamış bir yöntemle yeni bir makinanın geliştirilmesi demektir.

Gelişimin devamında, mevcut bir makinada ilave isteklerin yerine getirilmesi doğrultusunda hareket edilir. Bu gelişimde genellikle bilinen fiziksel prensiplerin uygulanması ile kısmen yeni bir konstrüksiyon esasının yaratılması ve mevcut makinanın çalışma kapasitesinin artırılması amaçlanır. İyileştirme gelişiminde ise bilinen fiziksel prensiplerin uygulanması ile bir yapının münferit parçalarına ait yeni konstrüksiyon esaslarının yaratılması ve makinanın kısmi olarak iyileştirilmesi istekleri yerine getirilir.

Makina sanayiindeki gelişmelerin büyük bir bölümü iyileştirme geliştirilmesi şeklindedir ve iyileştirmelerin çoğu da malzeme bilimindeki gelişmelerin ortaya koyduğu yeni veya kullanılabilirliği iyileştirilmiş malzemelerin kullanımıyla gerçekleşmektedir.

Bir makinayı oluşturan elemanlar veya mekanizmalar, makinanın fonksiyonlarına uygun olarak tasarlanırken önemli aşamalardan biri de kullanılabilir en iyi malzemenin seçimidir.

En iyi malzeme kullanım yerine göre belirlenmiş şartlara fiziksel ve kimyasal davranış açısından en uygun malzeme demektir.

Makina yapımında kullanılan metalik malzemelerin özellikle mekanik karakteristikleri açısından bakıldığında, diğer yapı malzemelerine kıyasla büyük bir öneme haizdir ve bu önem gelecekte de devam edecektir.

Ancak kimyasal direnç, hafiflik, kolay imalat, işlenebilirlik ve sönümlenme gibi özellikler açısından bakıldığında plastik ve kompozit malzemelerin de makina yapımında kullanımı gittikçe artmaktadır.

Makina sanayiinde özellikle takım tezgahları imalatında da bu yönde gelişmelerin yoğunlaştığı günümüzde birçok gelişmiş ülkede de halen araştırılmasına devam edilen yeni bir yapı malzemesi polimer betondur. Uzun yıllar önce inşaat yapı malzemesi olarak ortaya çıkan ve halen bu alanda kullanımı devam eden bu malzeme makina yapımcıları için de dökme demir ve çelik malzemeleri yerine özellikle gövde yapım malzemesi olarak alternatif bir malzeme gözüyle bakılmaktadır.

Klasik çimento betonu ile 1. Dünya Savaşı'ndan itibaren başlayan bu eğilim, polimer betonun ortaya çıkışıyla daha da artmıştır.

Bu konuda yapılan araştırmaları incelediğimizde başta Almanya ve Japonya olmak üzere birçok ülkede oldukça geniş kapsamlı çalışmaların yapıldığı, hazırlanan gövde prototipleri üzerinde yapılan deneylerden umut verici sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Polimer betonun gövde yapım malzemesi olarak kullanımının avantajları, bu malzemenin hafif, kolay imal edilebilmesi, korozyona dayanıklılığı ve hepsinden önemlisi sönümlenme özelliğinin metalik malzemelere göre çok yüksek oluşudur.

Mekanik özellikleri de iyileştirilen polimer betonun diğer makina elemanları imalatında da yapım malzemesi olarak kullanımı konusunda araştırmalar da gündeme gelmiştir.

Bu çalışmamızda polimer betonun özellikle yorulma dayanımı ve diğer mekanik özellikleri açısından makina yapım malzemesi olarak kullanılabilirliğinin incelenmesine ve ideal bir yapı bileşiminin belirlenmesine çalışılmıştır.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Takım tezgahı gövdeleri imalatı için Schlesinger, G. 1917 yılında, dökme demir ve kaynak konstrüksiyonlar yerine çimento betonunu önermiştir. 1. Dünya savaşı yıllarında metal malzemelerin teminindeki zorluklar nedeniyle, bu öneri daha da önem kazanmıştır. Farklı birçok çalışma sonrası, çimento betonunun termik stabilitesinin metalik malzemelerden oldukça yüksek olmasına rağmen, uzun sertleşme süresi, büzülme sünme ve nem hasasiyeti nedeniyle, takım tezgahı gövdesi olarak kullanımlarında ciddi bir gelişme olamamıştır. Çimento betonu gövdelerle ilgili araştırmalar 1940 yılına kadar devam etmiş, mevcut konstrüksiyonların yanında, daha kolay ve yüksek kalitede bir birleşimle oluşturulabilecek uygun makina gövdesi imalatı fikri esas alınarak çalışmalar sürdürülmüştür [1,2].

Makina ve tezgah konstrüksiyonlarında geleneksel gövde malzemesi olarak kullanılan dökme demir ve çelik malzemeler geçerliliğini korumasına rağmen, çimento betonu sonrası 1970'li yıllara kadar tezgah gövdesi olarak kullanılabilen yeni malzeme arayışları devam etmiş, özellikle suni reçinelerdeki gelişmelerin paralelinde oluşturulan yeni beton terkipleri, tezgah gövdeleri imalatı için de alternatif bir malzeme olarak ortaya çıkmıştır. İsveç'te Studer, F. 1974/75 yıllarında reçineler üzerindeki çalışmasıyla "epoksi reçine"yi geliştirmiş ve bu "epoksi polimer beton" ile ilgili araştırmaların başlamasına neden olmuştur [1,3].

Talaşlı imalatta kullanılan kesici takımlardaki gelişmelerle birlikte, rijit konstrüksiyonlara olan talep, dinamik yüklere ve yüksek gerilme oranlarına dayanım, gövdenin üzerinde taşıdığı tüm diğer elemanlar ile birlikte oluşturduğu sistem ve sistemdeki tüm statik yükler, termik veya kimyasal etkilere dayanımlı, fakat şekil değişimlerine izin vermeyen bir gövde malzemesi arzu edilmektedir [4].

Sadece teknik ayrıntıların giderilmeye çalışılması çözüm olarak gözükmez, dolayısıyla teknolojik gelişmelerdeki istekler doğrultusunda ekonomikliği, uzun süre güvenilir şekilde işlevini sürdürebilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla bu noktada çimento betonundan farklı daha hassas özelliklere sahip, yüksek dolgulu, farklı reçineli sistemlerin uygulamalarıyla problemlere çözüm bulunma aşamasına gelinmiştir. Konuyla ilgili birçok araştırmacı kişi ve kurum, polimer beton üzerindeki değişik etkileri inceleyerek polimer betonun daha iyi

anlaşıp bir mühendislik malzemesi olarak kullanılabilirliği konusunda önemli bulgular elde etmişlerdir. Bu araştırmaların bir kısmı, genelde çalışma içeriğinden de uzaklaşmadan, aşağıda kronolojik bir sıralama ile verilmeye çalışılmıştır.

Reçineli betonların ilk kullanım yerlerinden biri, Japonya'da "Nippon Ulusal Telefon ve Telgraf Kurumu" nun 1967'de kominikasyon kablolarının döşenmesi için geliştirdiği poliester reçineli betondan yapılmış ulaşım hatlarıdır. Bu hatlar klasik hatlarla karşılaştırıldığında ağırlıkta 1/3 oranında azalma ile kolay nakil, düşük fiyat ve hızlı imalat gibi avantajlar sağlamıştır [5].

Möller, H.; Gleich, D.; Lamminger, M.; 1969 yılında, "Polimer beton boru imalatı ve kullanımı" isimli araştırmalarında, imal ettikleri borular ile eğilme ve çekme mukavemet değerlerinin sıcaklığa bağlı olarak değişimini incelemişler ve 40°C'da maksimum değerlere ulaşmışlardır. Çekmede ve eğilmede elastisite modülü ve poisson oranının sıcaklıkla değişiminide inceleyen araştırmacılar 35-40°C'dan sonra elastisite modülünün düşüp poisson oranının arttığını ayrıca çekme ve eğilme gerilmeleri altındaki numunelerde gerilme artışıyla elastisite modülünün azaldığı ve poisson oranının arttığını gözlemişlerdir [6].

Hornikel, T.; 1974 yılında, "Suni taş ve betonlar için poliester reçine bağlayıcılar" isimli araştırmasında, reçine miktarındaki artışla polimer betonda büzülmenin arttığını belirlemiştir [7].

Ohama, Y.; "Japonya'da polimer beton" isimli araştırmasında, Japonya'da polimer beton ile ilgili değişik Japon araştırmacı ve kurumlarının yaptıkları çalışmalar verilmiştir. Polimer beton ve polimer harçlarının, Japonya'da üretim, imalat ve kullanımıyla ilgili gelişmeler "polimer beton komitesi" tarafından değerlendirilerek 11 JIS (Japon endüstri standardı) şeklinde standart düzenlemişlerdir. Bunlar, poliester reçineli beton numunelerin imal metodları, basma, eğilme ve çekme mukavemetleri için test metodları poliester reçineli betonların çalışma ömürleri için ölçüm metodları gibi standartları kapsamaktadır. Üretim teknolojisiyle ilgili ise, polimer harçların tipik bir karışım özelliği; sıvı reçine/ince agrega oranı (ağırlık olarak), (1/3)-(1/7) gibi verilmiştir. Tablo 2.1'de Japonya'da kullanılmakta olan polimer betonuların mekanik ve fiziksel özellikleri verilmiştir. Japonya'da epoksi poliester ve poliakrilat harçların geniş bir kullanım alanı olduğu ve genelde yapıştırıcı antikorrozyon, kaplama, kaldırım malzemesi ve nem'e dayanıklı özellikteki malzemeler olduğu belirtilmiştir. Üretimde, PC (polimer beton) çubuk ve FRP (fiber cam takviyeli plastik) şeklindeki uygulamalardan bahsedilmiştir. Birçok gözlem evi yapısında çelik çubuk yerine FRP çerçevesi kollar ile desteklenmiş polimer ve poliester beton karışımında

öğütülmüş granit agrega kullanılmıştır. Birçok kablo iletim hattı ve boru üretimi yapan Japon firmaları yıllık üretim miktarlarıyla açıklanmıştır. Konvansyonel çimento üretimlerinden daha dekoratif ve değişik renk ve istenilen boyutlarda paneller elde edilebilmiştir. Bunlar gerilme, darbe direnci, donma-ergime kararlılığı gibi konvansyonel çimento mozayiklerine göre üstünlükleri olan malzemelerdir. Bu panellerde, kolonlarda veya yapının dış duvarlarında kullanılabilir. Diğer uygulamalar yaya yolu ile ara bölme panelleri, prefabrik yapılar, lavabolar, kanallarda ve taşma savaklarda kaplama hidroelektrik güç istasyon savakları gibi sıralanabilir. Diğer önemli bir gelişmede takım tezgahı yapıları için polimer betonun kullanımı ile olmuştur. Takım tezgahı yapılarında gürültü ve titreşimi azaltmak için "Teknik Araştırma Enstitüsünde" 1981'de epoksi reçineli polimer beton malzemedan bir silindirik taşlama tezgahı geliştirilmiştir. Enstitü, makina endüstrisindeki gelişmelerde Japon şirketlerine yardımcı olmaktadır. Çalışmaları ise bir komisyon tarafından, Üniversitelerin yönetiminde, makina endüstrisindeki büyük kuruluşların desteği ile gerçekleştirildiği ifade edilmiştir [5].

Tablo 2.1 Farklı reçineli polimer betonların mekanik ve fiziksel özellikleri

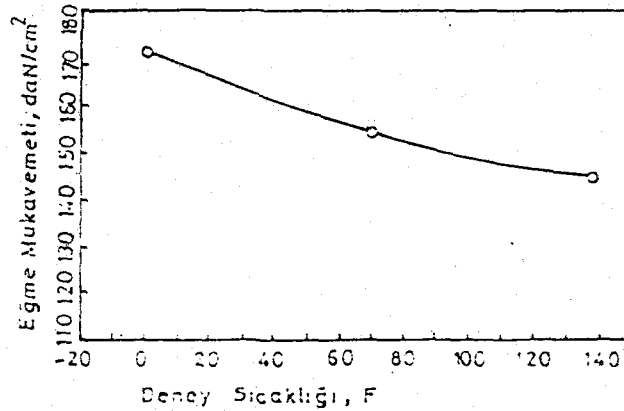
Özellikler		Polimer betonun tipi					Referans farklı malzemeler		
		Furan	Poli-ester	Epoksi	Poli-üretan	Fenol	PMMA	Asv. Bet.	Çim. Bet.
Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )		2200 2400	2200 2400	2100 2300	2000 2100	2200 2400	2200 2400	2100 2400	2300 2400
Gerilme (kg/cm <sup>2</sup> )	Basma	700 800	800 1600	800 1200	650 720	500 600	800 1500	20 150	100 600
		Çekme	50-80	90-140	100-110	80-90	30-50	70-100	2-10
	Eğilme	200 250	140 350	170 310	200 230	150 200	150 220	20 150	20 70
Elastisite modülü (x10 <sup>4</sup> kg/cm <sup>2</sup> )		20-30	15-35	15-35	10-20	10-20	15-35	1-5	20-40
Su absorpsiyonu (% ağırlık)		0.05 0.3	0.05 0.2	0.05 0.3	0.3 1.0	0.1 0.3	0.05 0.6	1.0 3.0	4.0 6.0

Haddad, M. U.; Fowler, D. W.; Paul D. R.; 1983'de, "Polimer betonun mukavemetine ve kemikleşmesine tesir eden faktörler" konulu araştırmalarında, polimer betonun mekanik davranışı ve donma süresi üzerinde etken faktörlerin araştırılması üzerinde durmuşlardır.

Faktörler, initiator-prometer oranı, initiator ve promotor seviyeleri, döküm sıcaklığı, test sıcaklığı, dolgu malzemesi tipi ve sınıflandırılması ve donma noktasının etkisidir. Testlerin sonuçları, 78 kiriş ve 63 silindir üzerindeki deneyler ile rapor edilmiştir. Tablo 2.2'de, Farklı döküm sıcaklıklarındaki, initiator % BzP (benzol peroksit) ve promoter %DMPT (dimetil para toluidine) oranlarının inceleme sonuçları verilmiştir. Burada: monomer olarak; %95 MMA (metil metakrilat) ve %5 TMPTMA (trimetil propan trimetakrilat); sıcaklık 100°F(38°C); örnek boyut 10 cc olarak alınmıştır. Şekil 2.1'de eğilme mukavemetinin test sıcaklığı ile değişimi verilmiştir. Burada: monomerler; %95 MMA, %5 TMPTMA, %1.25 BzP, %0.625 DMPT; numune boyutları 51x51x305 mm kiriş; döküm sıcaklığı 70°F olarak alınmıştır. Sonuçta sıcaklık azaldıkça eğilme mukavemet değerinin arttığı gözlenmiştir.

Tablo 2.2 Farklı döküm sıcaklıklarında BzP/DMPT oranları.

Döküm sıcaklığı °F (°C)	BzP/DMT	Seçim nedeni
100 (38)	3	Pahalı, uzun polimerizasyon süresi
70 (21)	2	Pahalı, uzun polimerizasyon süresi
50 (10)	2	Pahalı, uzun polimerizasyon süresi
30 (-1)	2	Pahalı, kısa polimerizasyon süresi



Şekil 2.1 Test sıcaklığı ile eğilme mukavemetinin değişimi

Tablo 2.3'de,  $\phi 76 \times 152$  mm boyutlarındaki silindirik numunelerde, 100, 70, 30 °F (38, 21 -1 °C) döküm sıcaklıklarının, elastisite modülü ve basma mukavemeti üzerine etkilerinin inceleme sonuçları verilmiştir. Burada: monomerler (% oranlar ağırlık olarak); %95 MMA ve %5 TMPTMA, initiator BzP ve promotor olarak DMPT, monomer yüklemesi; hacim

%26.2 ve ağırlık olarak %11.5 alınmış, test sıcaklığı 70°F(21°C), numune yaşı 24 saat yükleme oranı 6.325 MPa/s, yoğunluk 2.88 kg/m<sup>3</sup> değerleri kullanılmıştır. Test sonuçlarına göre, maksimum basma mukavemeti ve elastisite modülü 30°F'da üretilmiş numunelerde elde edilmiştir. Tablo 2.4'de, PC-G, D, T ile verilen polimer beton bileşimleri, değişik karışım yüzdelerinde ve farklı tiplerdeki kuvars malzemeleri (dolgu

Tablo 2.3 Farklı sıcaklıkta dökülmüş numunelerin mukavemet değerleri

Tip	Döküm sıc., °F	Bzp, %	DMPT, %	Donma süresi, dak.	Maksimum sıcaklık, °F	Basma muk., psi	Ortalama Basma muk., psi	E, psi
PC-30	30	3.0	1.5	58	101	9479	9418	1.66x 10 <sup>6</sup>
				59	99	9762		
				62	90	9012		
PC-70	70	1.25	0.625	39	160	6890	6899	1.32x 10 <sup>6</sup>
				39	162	7017		
				40	165	6791		
PC-100	100	1.05	0.35	27	169	6791	7137	1.49x 10 <sup>6</sup>
				27	170	7130		
				26	173	7597		

Tablo 2.4 Farklı agrega tiplerine göre polimer beton malzemelerin özellikleri

Tip	Monomer yüklemesi %		Maksimum sıcaklık, °F	Donma süresi, dak.	Basma muk., psi	Ort. Basma muk., psi	E, psi	Relatif muk.	Relatif dayanı
	Hacim	Ağırlık							
PC-70	26.2	11.5	160	39	6890	6899	1.32x 10 <sup>6</sup>	1.0	1.0
			162		7017				
			165		6791				
PC-G	25.9	11.2	131	39	5715	5862	0.98x 10 <sup>6</sup>	0.85	0.741
			128		6211				
			134		5659				
PC-D	26.0	11.2	133	43	6762	6281	1.46x 10 <sup>6</sup>	0.910	1.102
			130		6055				
			129		6027				
PC-T	26.4	10.6	118	44	7356	7064	1.67x 10 <sup>6</sup>	1.024	1.261
			119		6932				
			119		6904				



malzemeli polimer betonu) ifade etmektedir. PC-70 ise Tablo 2.3'den alınmış polimer betondur. İfade edilen bu malzemelerin basma mukavemeti ve elastisite modülleri incelenmiştir. Burada, monomer formülasyonu; %95 MMA, %5 TMPTMA, %1.25 BzP ve % 0.625 DMPT, numuneler  $\phi 76 \times 152$  mm boyutunda, döküm sıcaklığı 70°F(21°C), test sıcaklığı 70°F(21°C), yaş 24 saat, yükleme oranı 0.325 MPa/s değerleri kullanılmıştır. Relatif gerilme PC-70'in ortalama gerilme değerinin, dolgu malzemeli PC'lerin ortalama gerilme değerlerine oranıdır. Relatif stiffness PC-70'in elastisite modülünün, diğerlerine oranıdır. Test sonuçları; maksimum basma mukavemeti ve elastisite modülünün, PC-T bileşimiyle elde edildiğini göstermiştir [8].

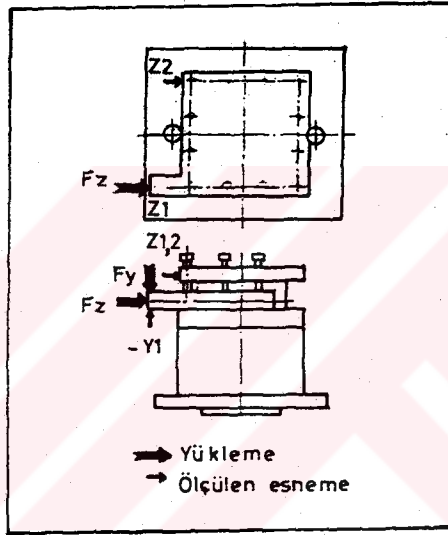
Kreis, R.; Nicklau, G.; 1983'de, "Polimer beton yapı elemanlarının esasları ve kullanımlarında yapılarının incelenmesi" konulu çalışmalarında, Japonya'da Kobe Üniversitesinde bir torna tezgahının konvansiyonel sportunun yerine üç ayrı sport test edilmiş, statik ve dinamik dayanımları konvansiyonel sport ile karşılaştırılmıştır. 1. sport çelik bloktan, 2. sport ise epoksi polimer betondan imal edilmiştir. 3. sportun amacı gövdesi 8 mm kalınlığındaki çelik levhalardan kaynak edilerek birleştirilmiş ve içi epoksi polimer beton ile doldurulmuştur. Sportların statik rijitliği, statik kuvvetlerin uygulanması ve sportların uç deformasyonlarının ölçülmesiyle belirlenmiştir. Polimer betondan yapılan sportların dayanımı, çelik sportlar ile konvansiyonel sportlar arasında yer almıştır. Ni, Cr, Mo alaşımlı çelik takımlarla, farklı sportları test etmek için yapılan tornalamada, polimer beton sport, takımının kırılmadan kesebilme (takım dayanım) süresi en fazla olan tip olmuştur. Tablo 2.5'de test edilen sportların rijitliği ve takımın kırılmadan kesme uzunlukları verilmiştir.

Tablo 2.5 Farklı malzemelerden yapılmış sportların testleri

Sport çeşidi	Sportların statik rijitliği ( $\mu\text{m}/\text{N}$ )				Takımın kırılmadan kesme uzunluğu	
	Eksenel yön		Radyal yön		Ortalama eksenel uzunluk (mm)	Standart sapma (mm)
	Z1/Fz	Z2/Fz	Y1/Fy	Z1/Fy		
Çelik	0.012	0.012	0.010	-0.006	15.2	10.9
Polimer beton	0.018	0.014	0.013	-0.010	120.2	45.0
Polimer betonla doldurulmuş çelik	0.014	0.013	0.012	-0.008	16.4	13.9
Konvansiyonel	0.026	0.024	0.019	-0.010	109.6	78.4

Sportlarda statik rijitliğin ölçümü, Şekil 2.2'de verilmiştir. "Technical Research Institute of Japan Society for Promotion of Machine Industry" (JSPMI) tarafından bir alın taşlama

tezgahının, "Toyada Machine Tools Co." ile işbirliği sonucu geliştirildiği belirtilmiştir. Burada hedef gürültünün azaltılması, tezgahın termik dinamik özelliklerinin test edilmesi şeklindedir. Tezgahta,  $\phi 320 \times 500$  mm boyuta kadar parçalar işlenebilmektedir. Gövde için epoksi reçineli beton kullanılmıştır. Termik iletkenliğin polimer betonda dökme demire nazaran daha az olduğu gözlenmiş ve tezgahın dinamik özelliklerinin polimer beton kullanımı ile önemli ölçüde iyileştiği belirlenmiştir. Makinanın ses şiddetinin, normal çalışma şartlarında dökme demir olan makinalara göre yaklaşık 3 db(A) kadar azaldığıda gözlenmiştir [9].

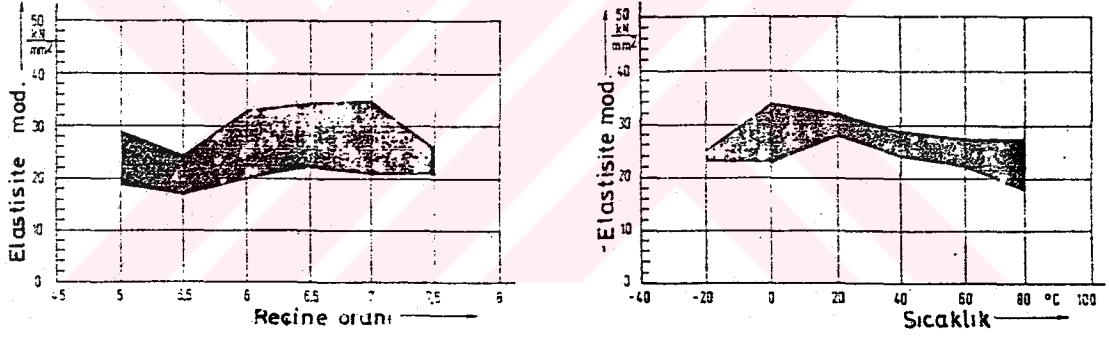


Şekil 2.2 Sportun statik rijitliğinin ölçümü

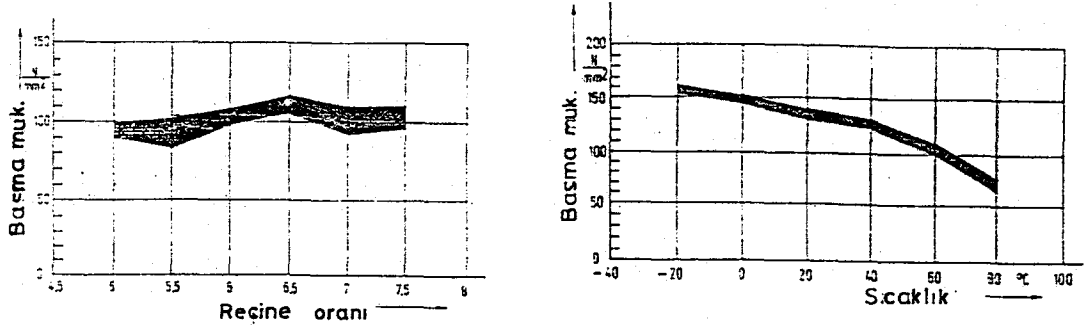
Krause, J.; Dey, H.; 1984 yılında, "Polimer beton makina parçaları" isimli araştırmalarında, vites kutularındaki dişlilerin birbirlerine geçişlerinde kuvvetli titreşimler oluştuğunu, bu kutuların polimer betondan imal edilmesiyle titreşimlerin azaldığını dolayısıyla polimer betonun dişli kutuları için de uygun bir malzeme olduğunu belirlemişlerdir [10].

Stawowy, J.; 1984 yılında, "Poliester reçine esaslı polimer beton ile hazırlanmış malzemelerin destek elemanı olarak kullanımı" isimli çalışmasında, UP, EP ve PMMA reçineli betonların büzülmesini 500x90x10 mm boyutlu numunelerde incelemiştir. Reçine %20 oranında kullanılmıştır. Deney sonuçları, büzülme ve zamana bağlı olarak epoksi reçineli betonda 0.5 mm/m, PMMA reçineli betonda 1 mm/m ve UP reçineli betonda ise 5 mm/m değerlerinde olmuştur. Bu nedenle hassas parça imalatında EP reçine tavsiye edilmiştir [11].

Nicklau, R. G.; 1985 yılında yayınlanmış, "Takım tezgah gövdelerinde matakrlat reçineli beton" isimli çalışmasında, metakrilat reçineli polimer beton numuneler ile yapılmış testlerin sonuçları, genelde sıcaklık ve reçine oranına göre elastisite modülü ile basma mukavemetinin değişimleri, sönüm, uzama ve eğilme yorulma mukavemeti v.b. diğer mekanik büyüklüklerin belirlenmesi şeklinde sunulmuştur. Son olarak metakrilat reçineli bir gövde ile dökme demir gövdenin şekil değişimleri mukayeseli olarak sonlu elemanlar yöntemiyle incelenmiştir. Şekil 2.3'de reçine oranı (% ağırlık) ve sıcaklık ile elastisite modülü değişimleri verilmiştir, burada %7 reçine oranı ve sıcaklığın 0°C değeri maksimum elastisite modül değerlerini vermiştir. Şekil 2.4'de reçine oranının %6.5 ve sıcaklığın -20°C değeri basma mukavemetini maksimum değere taşımıştır. Şekil 2.5'de reçine oranı değişimiyle sürünme verilmiştir, burada %7 oranı maksimum şekil değişimi oluşturmuştur.

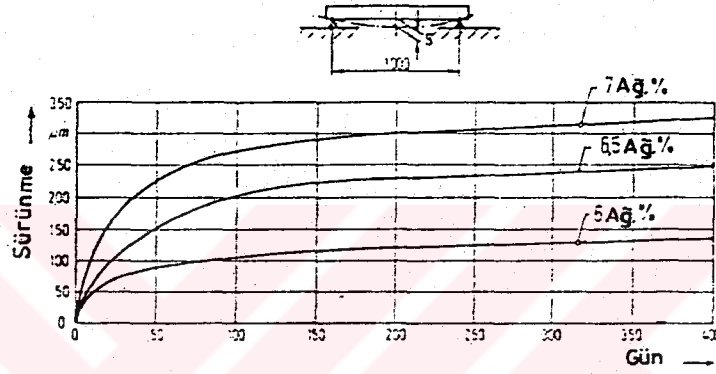


Şekil 2.3 Reçine oranı ve sıcaklığa bağlı olarak elastisite modülü değişimi

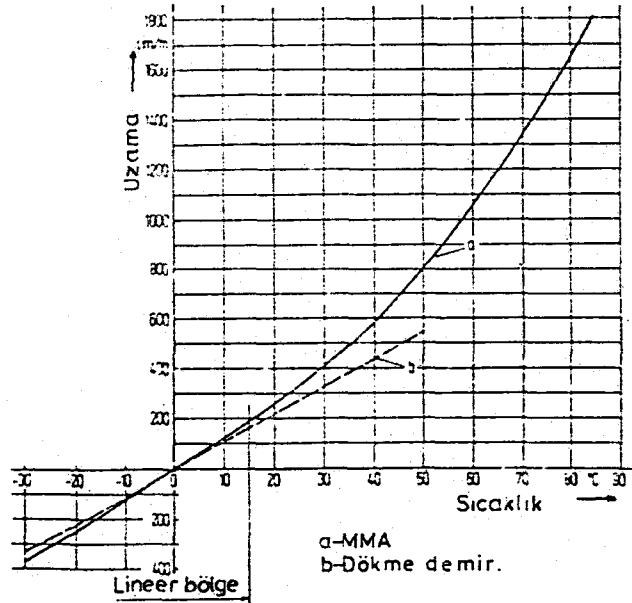


Şekil 2.4 Reçine oranı ve sıcaklığa bağlı olarak basma mukavemeti değişimi

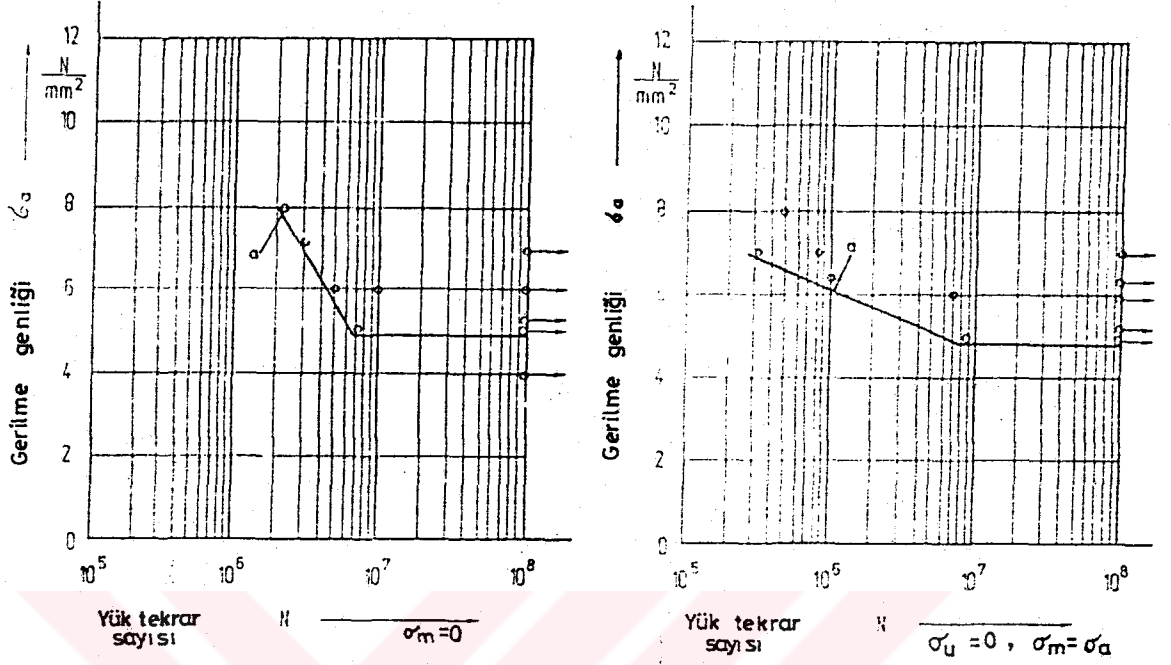
Şekil 2.6'da metakrilat reçineli polimer beton ve dökme demir malzemelerin sıcaklık uzama ilişkisi verilmiştir, burada polimer betonda artan sıcaklık ile daha fazla şekil değişimi gözlenmiştir. Şekil 2.7'de ise metakrilat reçineli polimer beton numunelerin titreşimli ve tam değişken zorlanma altında Wöhler eğrileri verilmiştir burada iki durum için sürekli mukavemet değerinin  $\sim 5 \text{ N/mm}^2$  olduğu belirlenmiştir [1].



Şekil 2.5 Reçine oranı değişimiyle bağımlı sürünme

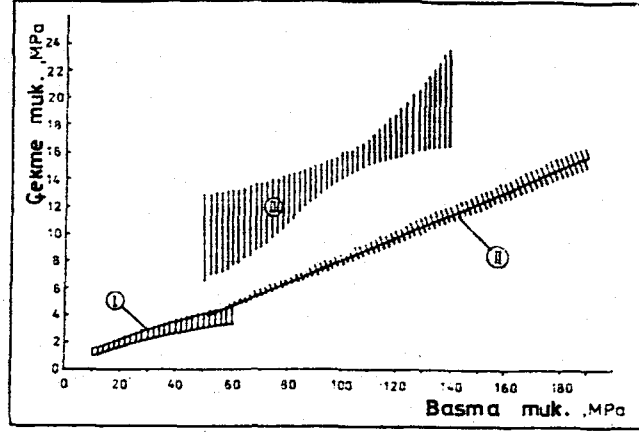


Şekil 2.6 Polimer beton ve dökme demir malzemelerde sıcaklık-uzama ilişkisi

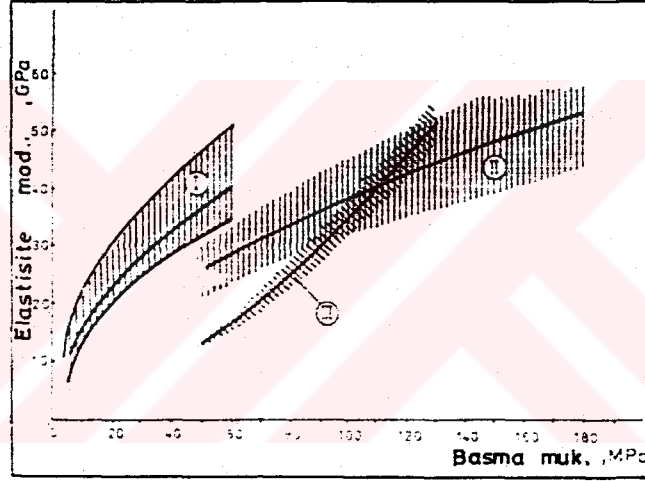


Şekil 2.7 Metakrilat reçineli polimer beton için Wöhler eğrileri

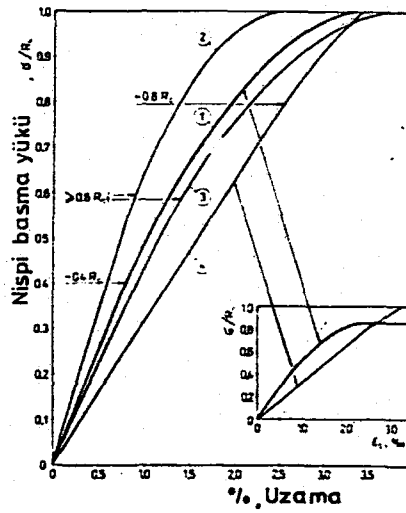
Czarnecki, L.; 1985 yılında, "Polimer betonun statüsü" isimli yayınında, inşaat mühendisliği ve büyük endüstriyel aktivitelerdeki gelişmeler, yapı malzemelerine olan yeni talepler ve bunların mali analizinde, polimer betonun dünyadaki yeri yapılmış çalışmalar ve araştırma aktiviteleri değerlendirilmiş ve polimer beton diğer betonlar ile karşılaştırılarak malzeme mühendisliği karakteristikleri sunulup sınıflandırılması yapılmıştır. PC (polimer beton), PCC (polimer çimento betonu) ve PIC (polimer emdirilmiş betonlar) için 1980 yılına kadar yayınlanmış makale sayısı incelendiğinde sırasıyla (maksimumdan minimuma) PC, PIC ve PCC, patent çalışmaları PCC, PC ve PIC patentleri yayınlayan ülkelerin incelemesinde Japonya, Rusya, Diğerleri Almanya, Amerika ve İngiltere, polimer beton ile ilgili kongrelerde sunulmuş yayın sayısı incelemesinde ise PC, PCC ve PIC şeklinde gerçekleştiği görülmüştür. Şekil 2.8'de çekme mukavemetiyle basma mukavemeti arasındaki değişimde, maksimum değerleri epoksi ve poliester reçineli polimer beton malzemelerin verdiği belirlenmiştir. Şekil 2.9'da elastisite modülü ile basma mukavemeti değişiminde, polimer emdirilmiş beton, epoksi ve poliester reçineli polimer beton malzemeler, çimento betonuna göre daha büyük mukavemet değerleri vermiştir. Şekil 2.10'da portland çimento, poliester reçine, epoksi reçine ve metakrilat reçine emdirilmiş polimer betonlar için gerilme-uzama değişimi incelendiğinde, poliester reçineli polimer betonda maksimum mukavemet değeri elde edilmiştir. Bölüm 4, Tablo 4.1'de polimer beton kompozitlerde malzeme bileşenleri ile sınıflandırma ve Şekil 4.1'de ise polimer beton malzemelerde yapısal özellikler gösterilmiştir [12].



Şekil 2.8 Çekme-basma mukavemeti ilişkisi



Şekil 2.9 Elastisite modülü-basma mukavemeti ilişkisi

Şekil 2.10 Gerilme-uzama ( $\sigma/R_c - \epsilon_c$ ) ilişkisi

Renker, H. J. 1985 yılında, "Taş esaslı yapı malzemeleri" isimli yayınında, çimento ve polimer çimento betonlar ile poliester, polimetilmetakrilat ve epoksi reçineli polimer betonlar anlatılmış ve betonda dolgu malzemesi olarak granit kullanılması halinde yapısal özellikler verilmiştir. Açıklanan taş esaslı malzeme yapılarının, takım tezgahı elemanları olarak kullanılabileceği belirtilmiştir. Takım tezgahlarında uzun işletme ömrü ve yüksek kalite talepleri yapı elemanlarının seçiminde büyük dikkat gerektirir. Dolayısıyla elemanın çalışma şartlarının ve isteklerin iyi belirlenmiş olması gerekmektedir. Çünkü bazı malzemeler özel şartlarda arzu edilmeyen davranışlar gösterebilmektedir. Çimento ve polimer betonun yapısı Bölüm 4, Şekil 4.2'de verilmiştir [13].

Kruger, D.; 1985 yılında, "Son zamanlarda polimer beton kullanımındaki gelişmeler" isimli araştırmasında, portland çimentolu malzemeler ile alternatif polimerlerin gelişmeleri ve bunların ekonomik, yapısal, fabrikasyon uygulamaları ile bazı betonların kullanımlarında izlenen gelişmeler açıklanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, konvansyonel betonlar ile yapılan karşılaştırma sonuçları; basma mukavemeti 4, çekme mukavemeti 4, elastisite modülü 2, kırılma modülü 4 ve eğilmede elastisite modülü 1 kat, çentik darbe dayanımı 1.7, hidro klorik asit'e direnç, 12 ve sodyum sülfat'a direnç ise 7 kat veya daha büyük olduğu ayrıca sürünmede 10 kat azalma ve ihmal edilebilir seviyede su emme özelliğinin olduğu belirtilmiştir. Ayrıca Tablo 2.6 ve Tablo 2.7'de, sırasıyla polimer betonların mekanik ve kimyasal özellikleri de verilmiştir [14].

Tablo 2.6 Polimer betonların mekanik özellikleri

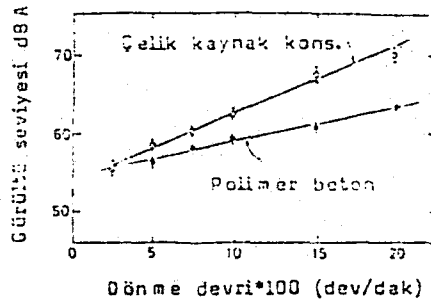
POLİMER	Polimer:Agréga oranı	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Gerilme (MPa)			Elastisite Modülü (GPa)
			Basma	Çekme	Eğilme	
Poliester	1:10	2.34	110	14	40	28
Poliester	1:9	2.33	70	---	17	28
Poliester-stiren	1:4	---	82	---	---	---
Epoksi+%40 dibütil ftalat	1:1	1.65	50	130	---	2
Epoksi+ Poliaminoamid	1:9	2.28	65	---	23	32
Epoksi-poliamid	1:9	---	90	---	35	---
Epoksi-furan	1:1	1.7	63	8	---	---
MMA-TMPTMA	1:15	2.40	138	10	22	35

Tablo 2.7 Polimer betonların kimyasallara direnci

Beton matrisi	Asit	Oksitlenme	Alkali	Tuz	Çözücüler	Yağ/Petrol ürünleri
Furan	10	2	9	10	8	8
Poliester	8-9	6-7	3-4	8-10	4-5	7-9
Epoksi	9	3	8	10	6-7	9
Portland Çim.	1	1	9	5	5-7	5-6

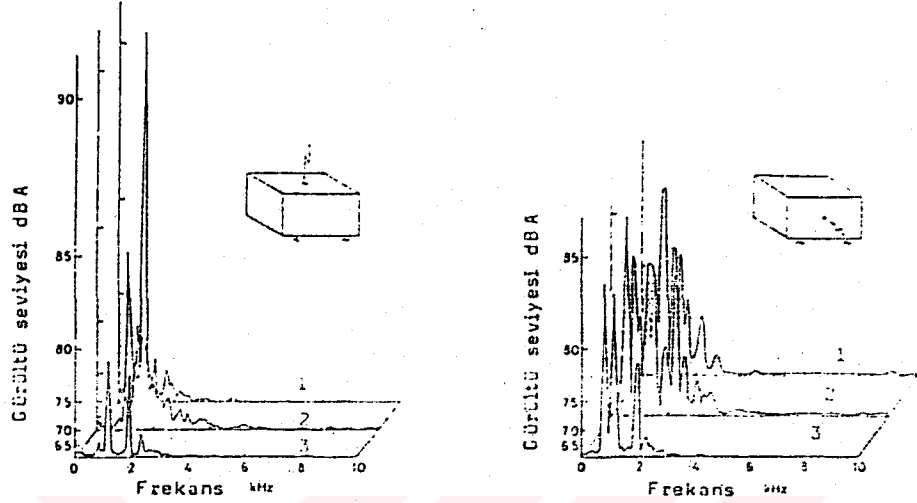
Not: 10, enyüksek direnci gösterir.

Chung, S.; Tsutsumi, M.; Ito, Y.; 1985 yılında, "Beton gövde kullanılan tornaların dinamik karakteristikleri" isimli araştırmalarında. Tokyo teknoloji enstitüsünde bir torna tezgahında, gövdedeki titreşim ve ses oluşumunun etkileri incelenmiştir. Deneyde kullanılan gövdeler, duvar kalınlığı 16 mm olan kaynakla birleştirilmiş çelik gövde çimento betonu ile doldurulmuş kaynaklı çelik ve 150 mm duvar kalınlığındaki polimer beton olarak üç değişik tipte alınmıştır. Tezgah bir dişli kutusu ve gövdeden oluşmaktadır. Tezgah üst yüzey merkezine ve ön yüzün üst tarafında bir noktaya küresel bir çelik çekiçle vurulduğunda oluşan gürültü, noktalara 100 mm uzaklıktaki bir mikrofon ile algılanmıştır. Dinamik bir test, çalışma anında oluşan gürültü seviyelerinin karşılaştırılmasıdır. Çalışma aynı tezgahlar üzerinde ve gövdenin ön yüzünden 1 m uzaklıkta, değişik devirlerdeki ölçümler şeklindedir. Devir sayısının artmasıyla gürültü seviyesinde artış gözlenmiş fakat bu artış çelik kaynak konstrüksiyonunda daha fazla olmuştur (Şekil 2.11). Sonuçta kaynaklı çelik gövde bu üç gövde arasında en yüksek gürültü spektrumuna, polimer beton gövdenin ise en düşük gürültü spektrumuna sahip olduğu belirlenmiştir (Şekil 2.12). Burada yatağın betonla doldurulmuş olması, gürültünün azalma nedeni olarak görülmüştür. Tezgah üzerinde belirli noktalardan ayrıca titreşimler ivme ölçer ile algılanmış ve ivme değerlerinin polimer betonda daha düşük olduğuda (Şekil 2.13) gözlenmiştir [15].



Şekil 2.11 Gövdelerin gürültü seviyeleri





Şekil 2.12 Torna gövdelerinin gürültü spektrumları



Çelik kaynak kons. gövde

Polimer beton gövde

Şekil 2.13 Torna gövdelerinin ivme spektrumları

Koblischek, P. J.; 1986 yılında, "Seramik ve taşlar yerine veya birlikte kullanılabilir bir malzeme Motema-Ac" nin (Motema-Ac= MotemaAcryl beton, yüksek dolgulu bir mineral; akrilikcam) bir polimer beton olduğu, ilave mineral kütleli, genelde kuvars içeren ve içinde çimento ile su olmayan, oda sıcaklığında polimerizasyona uğrayan metakrilat reçine esaslı, gözeneksiz bir yapı olarak sunulmuştur. Absorblama yeteneğinin olmadığı kirlenme yaratmayan, kimyasallara, havaya, güneş ışınlarına ve yaşlanmaya karşı son derece dayanımlı bir malzeme olarak verilmiştir. Tablo 2.8'de malzemenin karakteristik özellikleri gösterilmiştir. Bu malzeme ile besicilikte yem tekneleri seramik-"Motema-Ac" kombinasyonu ile bir binanın ön cephe ve teras yüzeyi üzerine olan uygulamalar (zemin kaplama, endüstriyel zemin ve teras kaplama olarak) anlatılmıştır [16].

Tablo 2.8 Malzemenin özellikleri

Basma mukavemeti	140 N/mm <sup>2</sup>
Eğilme mukavemeti	30 N/mm <sup>2</sup>
Talaş	< (6.0 cm <sup>3</sup> /50 cm <sup>2</sup> )
Yoğunluk	2.3 g/cm <sup>3</sup>
Su emme	% 0.1
Darbe dayanımı	0.18 MJ/mm <sup>2</sup>
Elastisite modülü	4x10 <sup>4</sup> N/mm <sup>2</sup>
Uzama emsali	0.015 mm/m <sup>°</sup> K
Isıl boyut kararlılığı	106 °C
Kimyasal dayanım	1-14 pH
Maksimum sıcaklık	100 °C

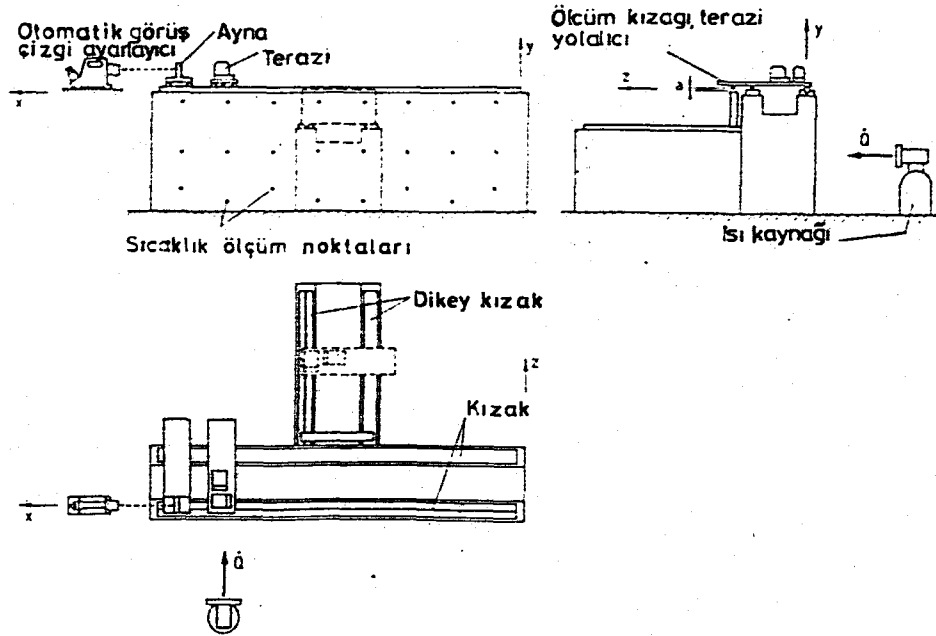
Subrahmanyam, B. V.; Neelamegam, M.; Rajamane, N. P.; Joseph, G. P.; Pandian, N.; Karim, E. A.; Rao, E. U.; 1986 yılında, "Polimer emdirilmiş demirli çimentodan modüler ışıklı işaret kulesi" isimli yayınlarında, PIF (polimer emdirilmiş demirli çimento) ile ışıklı işaret kulesinin prefabrikasyon fikri ile kullanımı için, yeni bir tasarım geliştirilmiş ve test edilmiştir. Yapı yüklerle karşı gerekli emniyet faktörleriyle, beklendiği şekilde dayanımlıdır. PIF yüksek korozyon dirençlidir ve etkisinde kaldığı rüzgara, tuz serpintisine nem ve sıcaklık değişimlerine kolayca karşı koyabilir. Dışarıdaki servis ömrünün en az 25 yıl olarak rahatlıkla elde edilebileceği belirtilmiştir. Kule için ön döküm panellerinin hazırlanması, her zaman yeterli kalite kontrolünün ve deneylerinin rahatlıkla yapılabilmesi, kolay taşınabilmesi, minimum kuvvet harcanarak yerde birleştirilip ayrılabilmesi hazırlanmasındaki önemli bir faktördür. Benzer diğer alternatiflerinden (12m veya 6m yüksekliğinde olarak) daha ucuz olduğuda belirtilmiştir [17].

Salje, E.; Gerloff, H.; 1986 yılında, "Takım tezgah gövdelerinde polimer beton veya dökme demir" isimli çalışmalarında yaklaşık eşit ölçülerde biri dökme demir diğeri polimer beton yüzey taşıma tezgah gövdelerinin ısı etkisi altında durumları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Tablo 2.9'da, polimer beton, dökme demir ve çelik malzemelerin özellikleri verilmiştir. Şekil 2.14'de, tezgahlarda ölçme yapısı verilmiştir. Şekil 2.15'de, gövdede belirlenmiş sıcaklık ölçüm noktalarından, zamana bağımlı olarak alınan ölçüm değerleri ile polimer beton ve dökme demir gövdedeki sıcaklık artışı belirlenmiştir. Burada, ısı kaynağı etkisindeki noktada ilk 2.5 saatte polimer beton gövdede sıcaklık artışı dökme demir gövdeye nazaran daha düşük, 2.5 saatten sonra ise sıcaklık artışının daha fazla olduğu görülmüştür. Maksimum sıcaklık değerlerine ise dökme demirde 20°K ile 3 saat

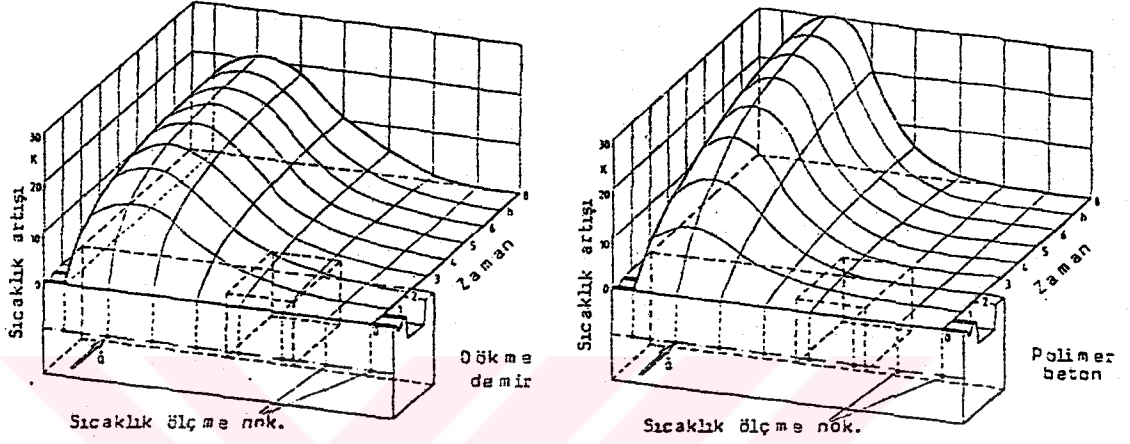
sonra ve polimer betonda 33°K ile 8 saat sonra ulaşılmıştır. Buna neden olarak polimer betonun kötü ısı iletkenliği gösterilmiştir. Şekil 2.16'da, ısı etkisindeki gövdede üç ölçüm noktasından alınmış, zamanla bağımlı kızak uç yer değişimleri verilmiştir. Burada ilk saatlerde dökme demirde şekil değişimi fazla iken ilerleyen saatlerde özellikle ısı kaynağındaki polimer beton malzemenin değerlerinde önemli bir artış görülmüştür. Çalışmada ayrıca ısı etkisinde kızakların -z yönünde doğrusallıktan sapmaları incelenmiş ve 1. saatte dökme demir 120  $\mu\text{m}$  iken polimer beton 80  $\mu\text{m}$ 'de kalmıştır. 8. saat sonunda ise dökme demir 170  $\mu\text{m}$ 'de iken polimer beton artarak 270  $\mu\text{m}$  değerine ulaşmıştır. Çalışmada, y yönündeki ısıl deformasyonda incelenmiş ve dökme demir polimer betona göre daha fazla ısıl deformasyon göstermiştir [18].

Tablo 2.9 Malzemelerin özellikleri

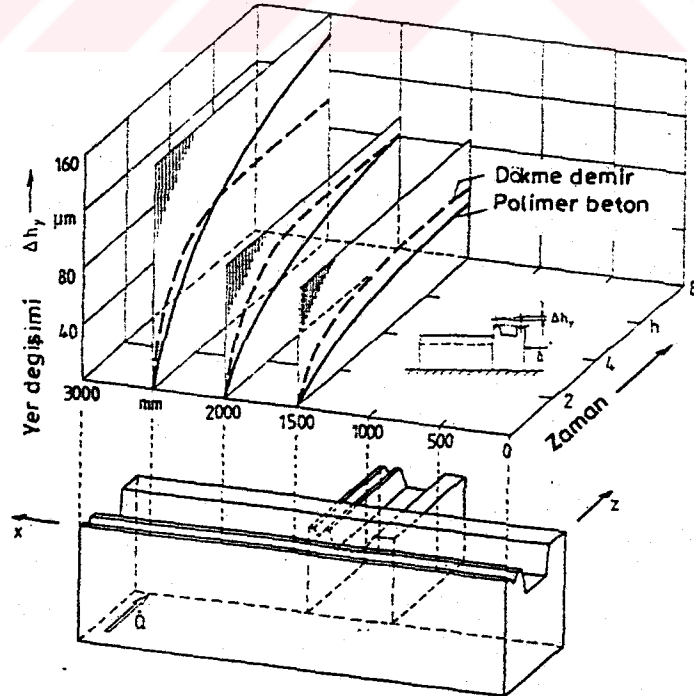
Özellik	Çelik	Dökme demir	Polimer beton
Elastisite modülü, E (kN/mm <sup>2</sup> )	210	105	30-40
Yoğunluk, $\rho$ (kg/dm <sup>3</sup> )	7.8	7.2	2.4
Çekme mukavemeti, (N/mm <sup>2</sup> )	400	200	10-50
Sönüm	0.002	0.003	0.02-0.05
Özgül ısı kapasitesi, c (J/kg°K)	460	590	1250
Isı iletim katsayısı, $\lambda$ (W/m°K)	50	50	0.8-2
Isıl uzama sabiti, $\beta$ ( $\mu\text{m}/\text{m}^\circ\text{K}$ )	11	10	12-20



Şekil 2.14 Ölçme yapısı

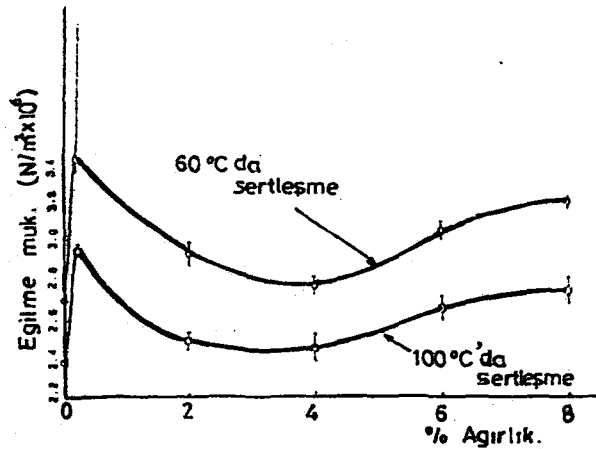


Şekil 2.15 Gövdede ölçüm noktalarında zaman-sıcaklıktaki artış ilişkisi

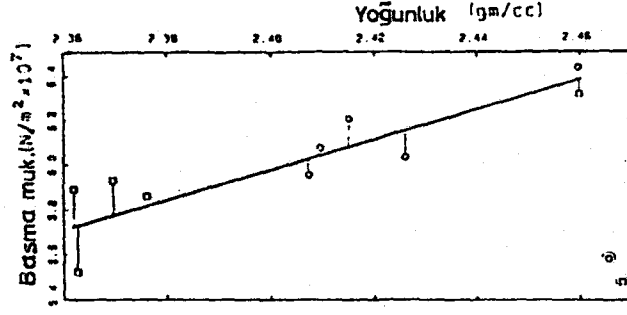


Şekil 2.16 Isı kaynağı etkisinde zamanla kızak yükseltilerinde şekil değişimi

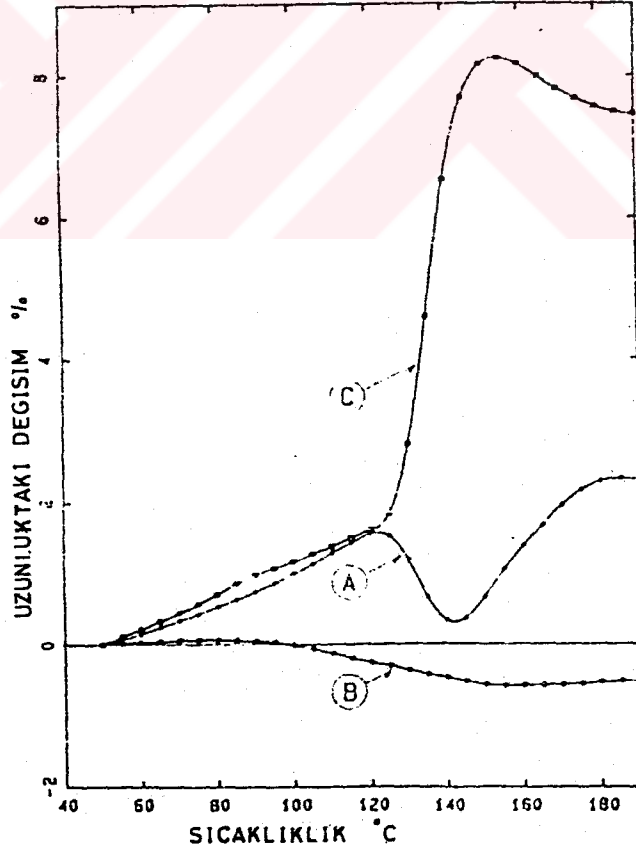
Haque, E.; Armeniades, C. D.; 1986 yılında, "Montmorillonite polimer beton: sıfır büzülme ve genişmiş polimer beton ile mukavemet artışı" isimli yayınlarında ifade edilen özelliklerin tümünün polimer beton sisteminde birlikte etki ettiği modern bir üretim yöntemi için montmorillonite içeriğinin, hacim değişimleri üzerinde polimerizasyon sıcaklığı ve dayanımın, polimer betonla olan etkileşimlerini incelemişlerdir. Polimer beton için % oranlar ağırlık olarak, bileşenler; poliester reçine %14.55, initiator %99 saflıkta granüle benzol peroksit %0.30, silan bağlama ajanı 3-metakriloksipropiltrimetoksi %0.15, montmorillonite (MMT) "magcogel" bentonite %(0-8.0), agrega silis kumu %(77-85.0) şekline kullanılmıştır. Çalışmada, 60°C ve 100°C da (ileride bahsedilecek diğer farklı tüm testler sürekli bu iki sıcaklık değerleri için tekrarlanmıştır) MMT'nin % ağırlık ile büzülme değişiminin incelemesi 6 numune ile yapılmış ve maksimum büzülme MMT'nin yaklaşık %4 oranında olduğu görülmüştür. Montmorillonite'nin PC içerisindeki % ağırlık oranının değişimi ile sırasıyla, basma, eğilme ve kesme mukavemet değerlerinin incelenmesinde ise normalde hazırlanmış bir polimer beton sistemiyle büzülme ve mukavemet değerleri arasında büyük farklılıklar, büzülme ve mukavemet değerlerinde %30 ile eğilme ve kesme mukavemetinde ise %16'lık bir artış gözlenmiştir. Şekil 2.17'de polimer beton sistemi içerisindeki % ağırlık olarak değişik oranlarına göre eğilme mukavemeti değişimi verilmiştir. Montmorillonite polimer beton sistemiyle üretilmiş numunelerin yoğunluğu ile sırasıyla basma, eğilme ve kesme mukavemet değerleride incelenmiştir, tüm gözlemler yoğunluk artışıyla mukavemet değerlerinin arttığı yönündedir. Şekil 2.18'de basma mukavemeti ile (MMT-PC numune) yoğunluğun değişimi verilmiştir. Poliester PC ve MMT ile birlikte PC'lardaki ısı akışı incelendiğinde MMT'li (%4)-PC'nun 100°C üzerinde daha düşük bir egzotermik ısı akımı oluşturduğu belirlenmiştir. Şekil 2.19'da ise üç farklı tipte malzemenin sıcaklık-uzama ilişkisi verilmiştir. Reaksiyon ısı ile MMT'nin % ağırlık değişimi incelendiğinde ise 100°C polimerizasyon sıcaklığında, MMT-PC sisteminde MMT'nin %4, 6 ve 8 oranları için sırasıyla 168, 160 ve 156°C'lık egzoterm sıcaklıklar tespit edilmiştir [19].



Şekil 2.17 PC sisteminde MMT'nin % ağırlık miktarıyla eğilme mukavemeti değişimi

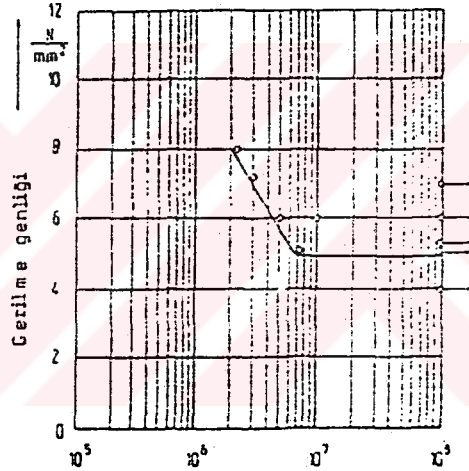


Şekil 2.18 MMT-PC numune yoğunluğu ile basma mukavemeti değişimi



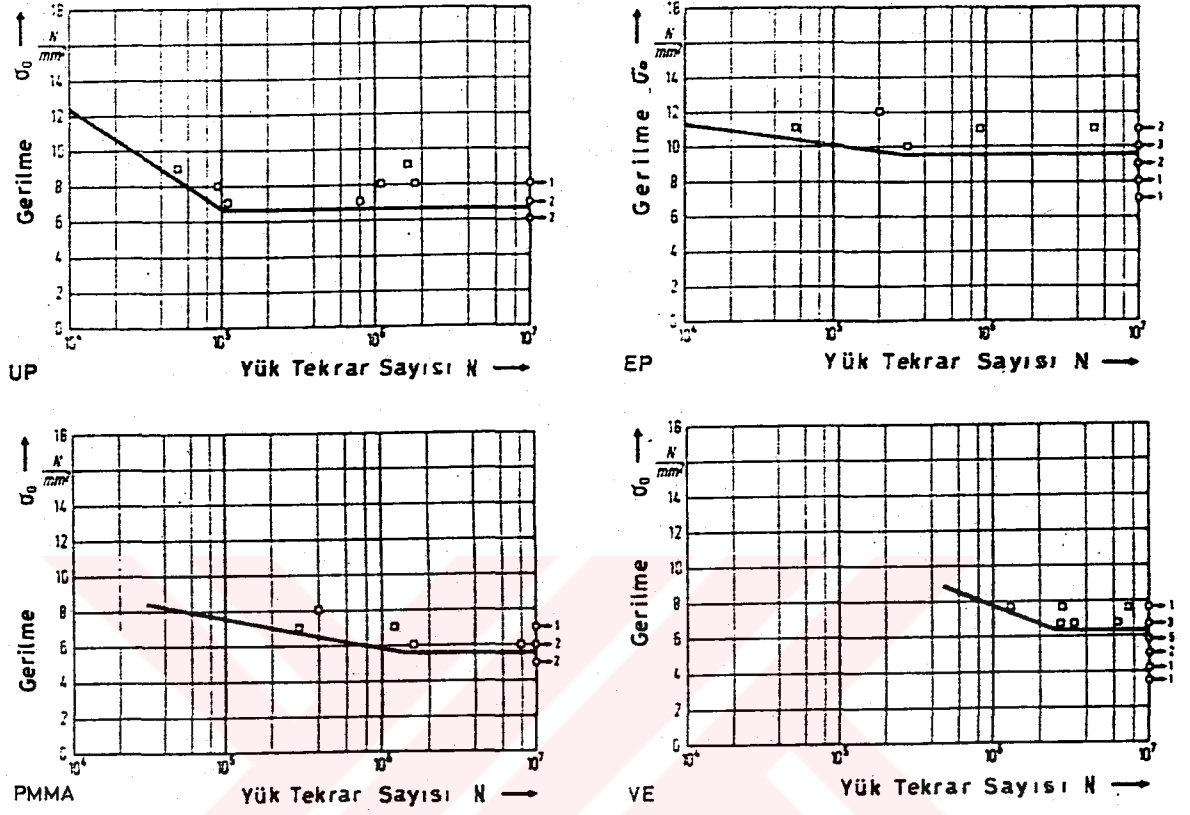
Şekil 2.19 Termomekanik analiz

Shulz, H; 1986 yılında, "Takım tezgahlarında polimer beton" isimli yayınlarında polimer betonun çimento betonuna göre avantajlarını incelenmiş ve tezgah üretiminde polimer betonun çimento betonu yerine kullanılabileceğini ifade etmiştir. Çalışmada, tane büyüklüğü 0-8 mm olan kuvars dolgu malzemesi ve ağırlık olarak %7 epoksi reçine kullanılarak hazırlanmış numunelerle yapılmış yorulma testleri sonucu Şekil 2.20'de epoksi polimer betonda eğilme yorulma mukavemeti wöhler eğrisi verilmiştir. Polimer beton dökümde yükleme açısından kritik olan yerlerin istenildiği kadar desteklenebileceği belirtilmiştir. Çimento betonu ise metallere göre yüksek termik stabilitesine rağmen uzun sertleşme süresi, büzülme, yağ ve nem hassasiyeti nedeniyle konstrüksiyon malzemesi olarak kullanımını engellemiştir [2].

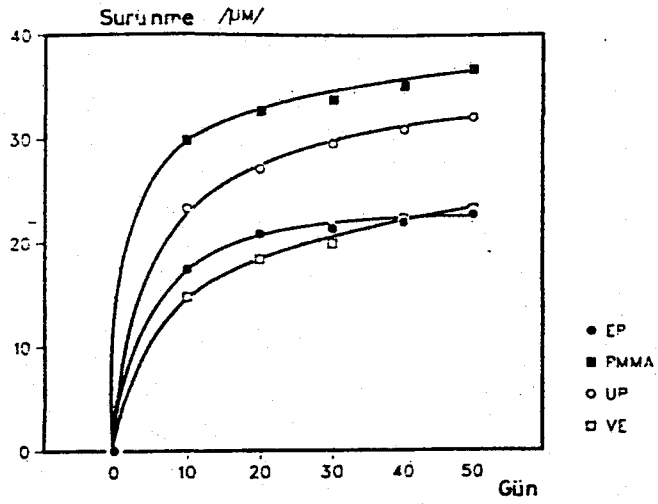


Şekil 2.20 Epoksi polimer betonda eğilme yorulma dayanımı

Krausse, J.; 1987 yılında; "Yüksek zorlanmalı makina elemanlarında polimer beton" isimli çalışmasında, PMMA (polimetilmetakrilat), EP (epoksi), UP (doymamış poliester) ve VE (vinil ester) reçineler, sertleştirici, hızlandırıcı, dolgu malzemesi ve tane büyüklüğüne bağlı olarak oluşturulan polimer beton malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi çalışmasıdır. Ayrıca polimer betonun kırılma mekanizması ve iki eksenli zorlanma halinde malzemedeki özellikleride incelenmiştir. Agregada maksimum tane büyüklüğü 8mm alınarak; Şekil 2.21 a,b,c,d'de, 100x100x1000 mm numunelerin (DIN 50100) sırasıyla PMMA, UP, VE ve EP reçineli polimer betonların wöhler eğrileri verilmiştir, burada en yüksek yorulma mukavemeti değerini EP reçineli polimer beton numunelerinin verdiği belirlenmiştir. Şekil 2.22'de ise, 40x40x80 mm deney numunesi, zorlanma etki süresi 50 gün eksenel basma gerilmesi altında EP, PMMA, UP ve VE reçine tiplerine göre polimer betonda sürünme olayı verilmiştir, burada VE ve EP reçineli polimer beton numuneler



Şekil 2.21 Farklı reçineli polimer beton numunelerinin wöhler eğrileri



Şekil 2.22 Farklı reçineli polimer beton numunelerinde sürünme

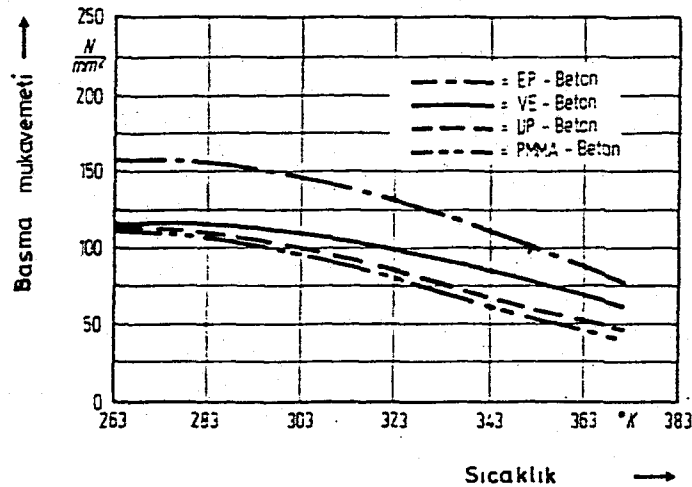
zaman içerisinde minimum şekil değişim değeri vermişlerdir. Tablo 2.10'da yine PMMA, UP, VE ve EP reçineli 40x40x120 mm boyutlu (DIN 1048), 8 deney numunesiyle alınmış



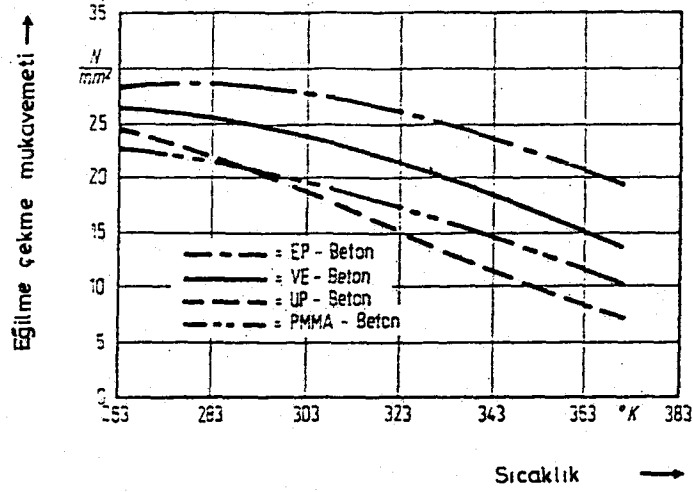
elastisite modülü değerleri verilmiştir, burada maksimum değeri PMMA reçineli polimer beton vermiştir. Şekil 2.23'de 40x40x120 mm boyutlu numuneler (DIN 1048) ile EP, VE UP ve PMMA reçineli polimer betonların basma mukavemeti-sıcaklık değişimleri verilmiştir, burada EP reçineli polimer beton maksimum basma mukavemeti değerini vermiştir. Şekil 2.24'de 40x40x160 mm boyutlu numuneler (DIN 1048), EP, VE UP ve PMMA reçineli polimer betonların eğilme mukavemeti-sıcaklık değişimleri verilmiştir burada yine maksimum mukavemet değerini EP reçineli polimer beton numuneler vermiştir [3].

Tablo 2.10 Farklı reçineli polimer beton numunelerde elastisite modülü

Numune	PMMA	UP	VE	EP
1	32400	35400	35400	40700
2	42100	36000	30400	31400
3	36700	41000	34100	33800
4	40300	39500	39700	40800
5	34600	40300	34100	35300
6	40800	33400	33060	34100
7	37000	36400	37800	38000
8	37600	34500	33700	35900
E	37700	37100	34800	36300
s	±3200	±2800	±2900	±3400

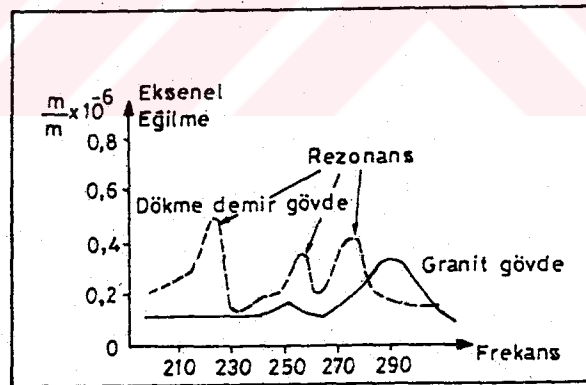


Şekil 2.23 Polimer beton numunelerde basma mukavemeti-sıcaklık değişimi



Şekil 2.24 Polimer beton numunelerde eğilme mukavemeti-sıcaklık değişimi

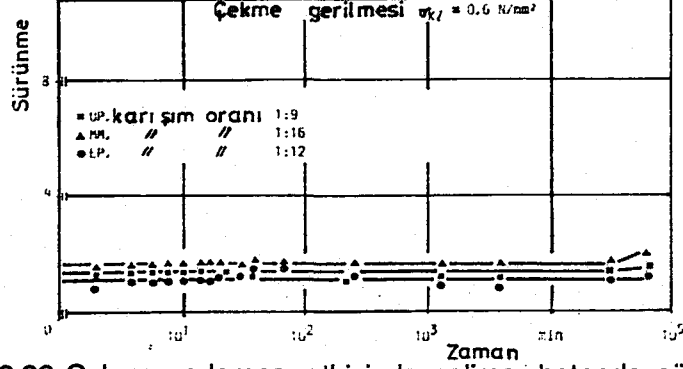
Cranfield Moulded Structures; 1987 yılında, "Makina tasarımında granit kompozitler" isimli araştırmalarında, epoksi reçine ve granit agregalar ile hazırlanmış bir yapı ile dökme demir malzeme arasında, Şekil 2.25'deki gibi, aksenal eğilme-frekans ilişkisi incelenmiştir. Sonuçta granit esaslı gövdenin dökme demire nazaran daha düşük aksenal eğilme ve rezonans değerleri verdiğini belirlemişlerdir [20].



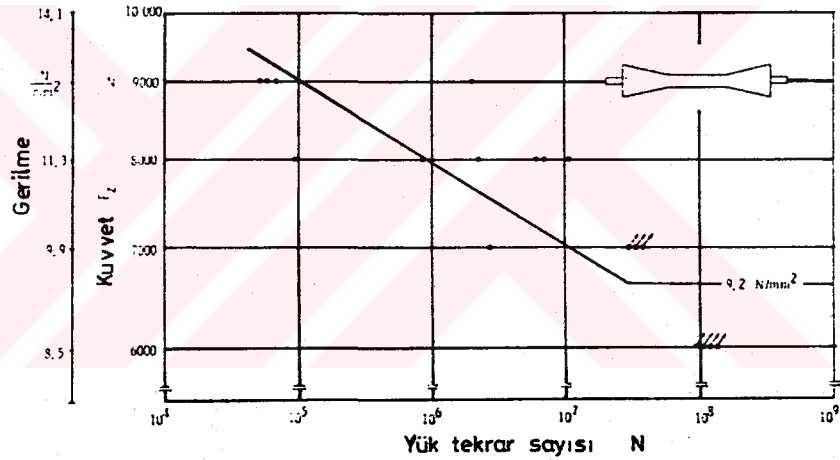
Şekil 2.25 Granit ve dökme demir esaslı gövdelerde eğilme-frekans ilişkisi

Sahm, D.; 1987 yılında, "Talaşlı imalat tezgahlarında gövde yapı elemanı olarak polimerbeton" isimli araştırmasında, tezgah gövdelerinin beton, kaynak ve dökme demir malzeme konstrüksiyonları yanında EP, MMA ve UP reçineleri içeren polimer beton malzemeli gövdenin mekanik özelliklerinin belirlenmesine çalışmıştır. Şekil 2.26'da çekme zorlaması altında UP, MMA, ve EP reçineli polimer betonlarda sürünme olayı verilmiştir, reçinelerin karışım oranları sırasıyla 1:9, 1:16, 1:12 olarak alınmıştır. Şekil 2.27'de epoksi reçineli polimer beton malzemenin çekme zorlaması altında wöhler eğrisi verilmiştir

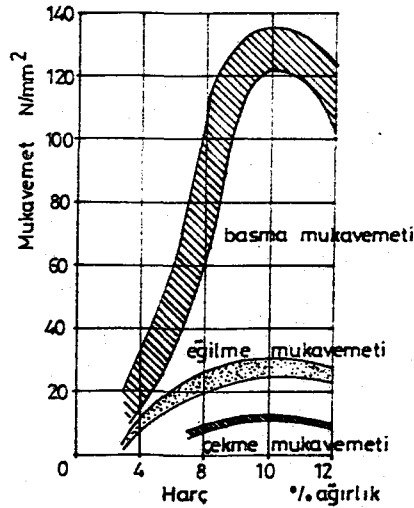
burada maksimum tane büyüklüğü 8 mm, epoksi reçine oranı 1:12.3 olarak alınmıştır. Reçine miktarı-mukavemet değerleri değişiminde (Şekil 2.28), ağırlık olarak %10 reçine miktarıyla maksimum bası, eğilme ve çekme mukavemeti değerlerine ulaşılmıştır. Tablo 2.11'de EP, MMA ve UP reçineli polimer betonların özellikleri verilmiştir [4].



Şekil 2.26 Çekme zorlaması etkisinde polimer betonda sürünme



Şekil 2.27 Epoksi reçineli polimer betonda çekme zorlaması etkisinde wöhler eğrisi



Şekil 2.28 Polimer betonda reçine oranı-mukavemet değişimi

Tablo 2.11 Reçinelerin özellikleri

Teknik özellikler	Epoksi reçine	Metakrilat reçine	Poliester reçine
<b>İmalat esnasında:</b>			
Akıcılık, (Pas)	0.01-20	0.001-0.17	0.03-1.7
Tavlama süresi, (dak)	5-240	1-40	4-120
Sertleşme süresi, (dak)	6-4000	20-1500	5-1500
Sertleşme mekanizması	Poliadisyon	Polimerizasyon	Polimerizasyon
Hacimsel büzülme, (%)	0.5-5	8-21	8-12
<b>Kullanımda:</b>			
Çekme mukavemeti, (N/mm <sup>2</sup> )	27-92	20-100	20-70
Basma mukavemeti, (N/mm <sup>2</sup> )	60-270	50-200	20-115
Kopmada uzama, (%)	2-3	1.5-4	1.5-10
Elastisite modülü, (N/mm <sup>2</sup> )	2000-4200	2800-4500	3000-5000
Yoğunluk, (g/cm <sup>3</sup> )	1.1-1.8	0.9-1.7	1.0-1.8
Termik uzama sabiti, (µm/m.grd)	32-90	30-80	20-90
Özgül ısı kapasitesi, (KJ/kg°K)	1.2-1.9	1.4-1.7	1.3-1.7
Isı iletim sayısı, (W/m°K)	0.11-0.6	0.14-0.18	0.14-0.18

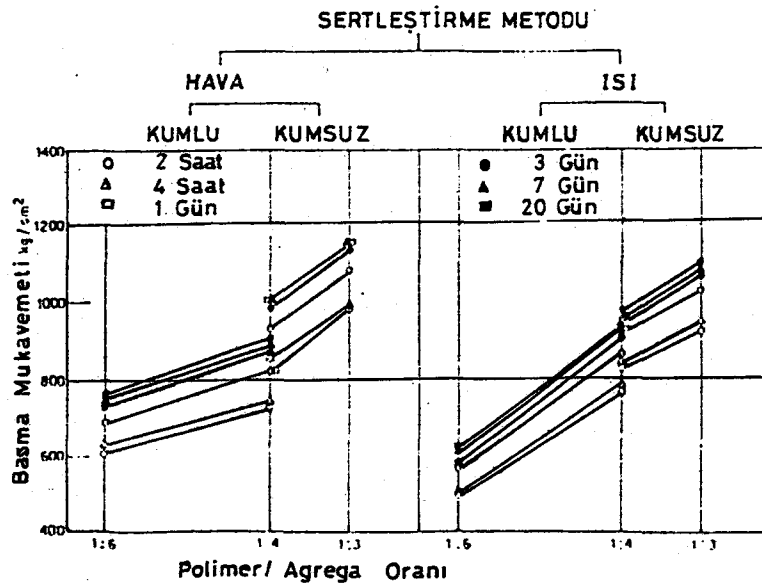
Capuano, T. D.; 1987 yılında, "Polimer beton" isimli çalışmasında, genel olarak polimer betonun tanıtımı, reçineler, dolgu malzemeleri ve tasarım konusunda açıklamalarda bulunmuştur. Polimer betonun izolator, endüstriyel sulama kanallarında, optik aletlerde takım tezgahları yapılarında, kimya endüstrisinde, robot kolları, besicilik gibi birçok uygulama alanında kullanılabileceği belirtilmiştir. Tablo 2.12'de metilmetakrilat epoksi vinilester ve poliester reçineli polimer betonların özellikleri verilmiştir [21].

Tablo 2.12 Polimer betonların özellikleri

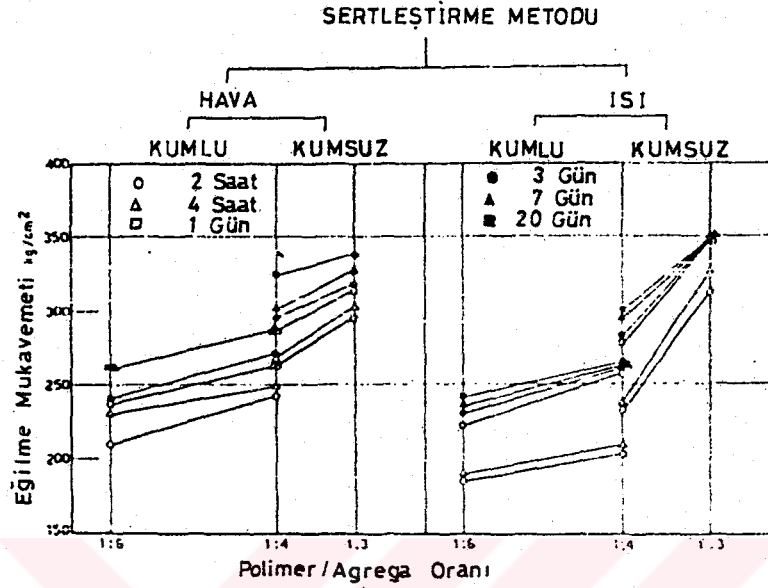
Özellik	Matris reçine		
	Metilmetakrilat	Epoksi	Vinilester ve Poliester
Yoğunluk, (lb/in. <sup>3</sup> )	0.070-0.086	0.070-0.086	0.070-0.086
Çekme mukavemeti, (10 <sup>3</sup> psi)	1-1.4	1.4-1.5	1.3-2
Basma mukavemeti, (10 <sup>3</sup> psi)	10-20	11-17	11-23
Eğilme mukavemeti, (10 <sup>3</sup> psi)	2-3	2.4-4.4	2-5
Elastisite modülü, (10 <sup>6</sup> psi)	2-5	2-5	2-5
Kopmada uzama, (%)	0.02	3.0	3.0
Isıl sabit, (-22'den 86°F), (10 <sup>-6</sup> /°F)	7-9.5	7-8	7-9.5
Su emme, (24h, 73°F, %)	0.04	0.03	0.03

Nutt, W. O.; 1987 yılında, "Polimer betonlarda yeni evreler" isimli yayınında, teknolojik gelişmelerin uzun sürede değişimleri izlendiğinde, ticari alanda polimer betonda da bir kabul görmüştür. Bu yeni aşamaların kabulü kalıp döküm beton endüstrisi tesislerinin kurulması ile olmuştur. Bu ve bunların dışındaki tesislerde ortaya çıkan yeni oluşumlar ve bunların belirtilmesi ve ilerideki yıllarda görülebilecek yenilikler araştırılmıştır [22].

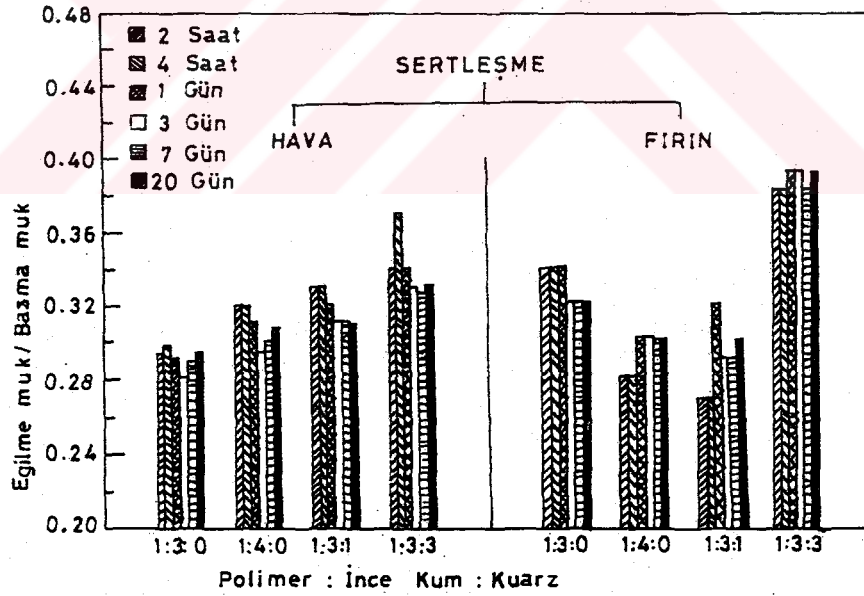
Kamal, M. M.; Tawfik, S. Y.; Nousseir, M.H.; 1987 yılında, "Poliester harçlar" isimli yayınlarında, poliester reçineli harçların basma mukavemeti, eğilme mukavemeti elastisite modülü, büzülme ve sülfirik asit'e dirençleri incelenmiştir. Burada değişkenler polimer içeriği, dolguda kuvars kumunun oranı, polimerizasyon (sertleşme) yöntemi ve numunenin yaşı şeklindedir. Portland çimentolu harçların özellikleri de incelenmiş ve poliester harçların çimento betonuna göre, yüksek bir sertlik oranı, yüksek mukavemet ve sülfirik asit'e daha yüksek bir direnç elde edilmiştir. Diğer yandanda çimento harçlarından daha düşük elastisite modülü ve daha yüksek büzülme göstermiştir. Testlerde, basma numunesi 40mm küp, eğilme numunesi 40x40x160 mm kiriş, elastisite modülü için  $\phi 75 \times 150$  mm ve büzülme için ise 20x20x280 mm boyutlarındaki numuneler kullanılmış ve deneyler havada 20°C ve fırında 60°C'da yapılmıştır. Şekil 2.29'da poliester harçların basma mukavemetinin polimer/agrega oranına bağlı olarak değişiminin incelenmesinde, kum kullanılması veya kullanılmaması halinde, polimer/agrega oranının 1:3 (P:F:S=1:3:0) değerinde havada polimerizasyonu ile 7 gün sonunda 1100 daN/cm<sup>2</sup> maksimum değere ulaşmıştır. Şekil 2.30'da ise bu kez eğilme mukavemeti için yapılan test, polimer/agrega oranının yine (P:F:S=1:3:0) 1:3 değerinde fırında polimerizasyonu ile 7 gün sonunda maksimum 348 daN/cm<sup>2</sup> değerine ulaşmıştır. Şekil 2.31'de poliester



Şekil 2.29 Poliester harcın basma mukavemetine polimer/agrega oranının etkisi



Şekil 2.30 Poliester harcın eğilme mukavemetine polimer/agrega oranının etkisi



Şekil 2.31 Poliester harcın basma ve eğilme mukavemeti ilişkisi

harçlarda basma mukavemeti-eğilme mukavemeti arasındaki ilişkinin incelenmesinde P:F:S=1:3:3 oranlarında, 4 saat sonunda havada ve 1 günde fırında maksimum değerlerine ulaşmıştır. Tablo 2.13'de 28 günlük poliester harcın büzülme ve elastisite modülü verilmiştir. Burada maksimum değerleri P:F:S=1:3:0 oranları vermektedir. Tablo 2.14'de ise reçineli harçların mekanik özellikleri üzerine sülfirik asit'in etkisinin değişimi

verilmiştir. Burada çimento harçlarında düşme görülürken, poliester harçlarda basma mukavemetinde artış ve eğilme mukavemetinde ise önemsiz sayılabilecek bir değişim gözlenmiştir [23].

Tablo 2.13 Poliester harcın büzülme ve elastisite modülü

Test özellikleri	Kurutma metodu	Yaşı	Çimento harcı	Poliester harç (P:F:C)			
				1:3:0	1:4:0	1:3:1	1:3:3
E (Kg/mm <sup>2</sup> )	Hava	28 gün	28	15	14	14	13
	Fırın (60°C)	28 gün	28	13	12	12	11
Büzülme (%)	Hava	28 gün	0.05	0.8	0.75	0.76	0.6
	Fırın (60°C)	28 gün	0.06	0.75	0.73	0.7	0.58

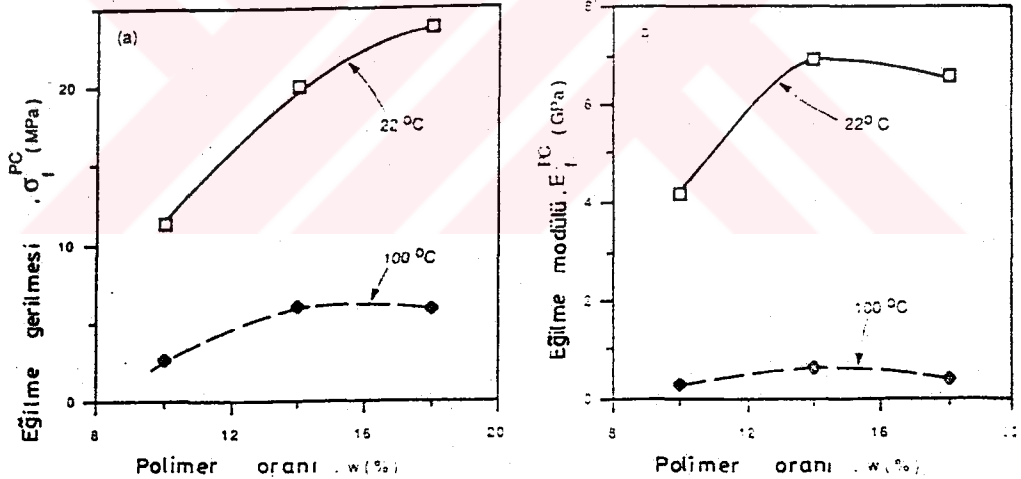
Tablo 2.14 Reçineli harçların mekanik özellikleri üzerine H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> etkisi

Harç tipi	Özellik	Laboratuvar atmosferinde	Laboratuvar atmosferinde
		28 gün sertleşme sonrası	28 gün sertleşme sonrası 28h H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> banyosu
Çimento harcı	Basma mukavemeti (kg/cm <sup>2</sup> )	240	170
	Eğilme mukavemeti (kg/cm <sup>2</sup> )	38	33
Poliester harcı (PSF, 1:4:0)	Basma mukavemeti (kg/cm <sup>2</sup> )	367	953
	Eğilme mukavemeti (kg/cm <sup>2</sup> )	300	296

Vipulanandan, C.; Dharmarajan, N.; 1987'de yayınlanmış, "Poliester polimer betonun eğilme davranışı" isimli yayınlarında, polimer betonun basma, eğilme ve elastisite modülü değerlerinin, poliester oranının (% ağırlık olarak ve 22°C'da) %15 değerine kadar artmasıyla arttığını fakat dahada artan poliester miktarıyla değerlerin azaldığını gözlemişlerdir. Ayrıca vibrasyon yerine basınçlı bir döküm uygulamasıyla polimer betonun daha fazla elastisite modülü ve mukavemet değerleri vereceği belirtilmiştir [24].

Vipulanandan, C.; Dharmarajan, N.; 1988'de yayınlanmış, "Epoksi polimer betonun kırılma özellikleri üzerine sıcaklığın etkisi" isimli araştırmalarında, değişik sıcaklıklar ve

reçine oranlarında çentikli epoksi polimer beton deney numunelerinin, dört nokta eğme yüklemesiyle kırılma davranışları incelenmiştir. Deney sonuçlarının analiziyle epoksi polimer betonun kırılma davranışlarını karakterize eden değişik kırılma parametreleri, kırılma yüzey enerjisi  $\gamma_{IC}$ , J integralinin kritik değeri ve kritik gerilme şiddeti faktörü  $K_{IC}$  büyüklükleri gözlenmiştir. Deneylerde sıcaklıklar 22 ve 120°C, polimer oranı ise (polimer betonun toplam ağırlığının % si olarak) %10 ve 18 arasında alınmıştır. Şekil 2.32 a ve b'de, değişik sıcaklıklarda, eğilme gerilmesi ve eğilmede elastisite modülü polimer oranının değişimine göre verilmiştir. Eğilme gerilmesi, %18 polimer oranında maksimuma giderken eğilmede elastisite modülü ise her iki sıcaklıkta da polimerin %14 oranında bir maksimum değer göstermiştir.  $K_{IC}$ ,  $J_{IC}$  ve  $\gamma_{IC}$ 'nin (değişik polimer oranlarında) sıcaklığa bağlı olarak değişimide incelenmiştir. Burada tüm polimer oranlarında sıcaklık artışı ile  $K_{IC}$ 'de azalma ve  $J_{IC}$  ve  $\gamma_{IC}$  değerlerinde ise bir maksimum değerden (80°C) sonra azalma gözlenmiştir. Ayrıca, epoksi polimerin polimer betondan daha fazla çentik hassasiyeti gösterdiği, her ikisinde çentiğe duyarlı olduğu ve sıcaklıktaki artış ile epoksi polimerin çentik duyarlılığının azaldığıda belirlenmiştir [25].

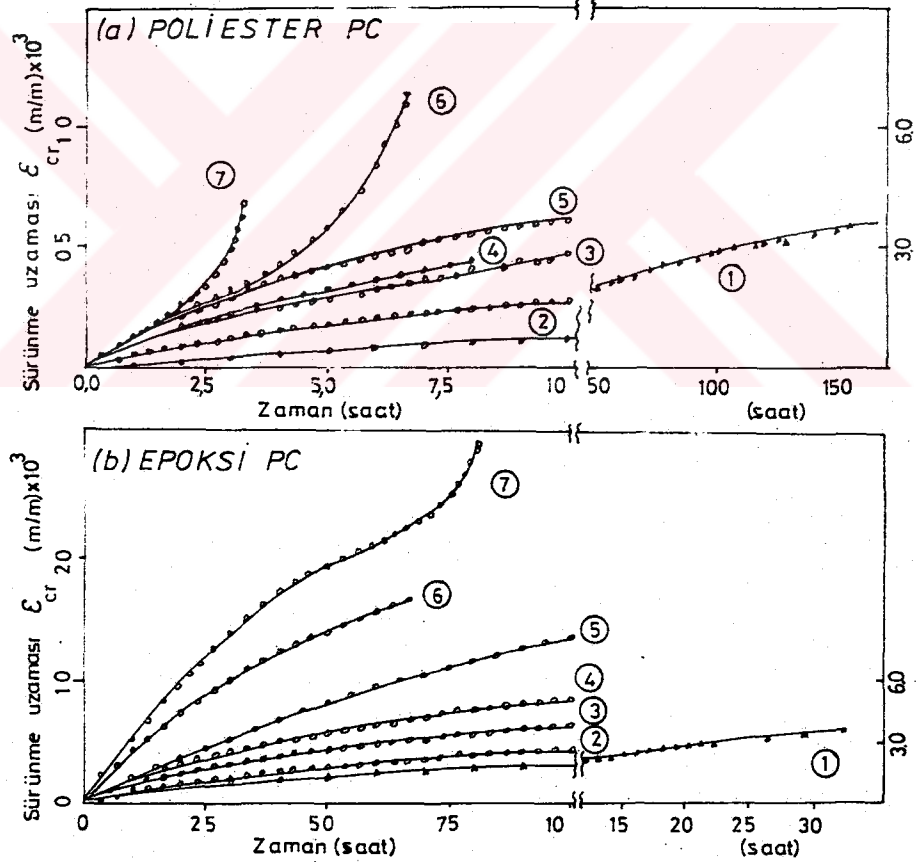


Şekil 2.32 Farklı sıcaklık ve polimer oranlarında epoksi polimer betonun mukavemeti

Schulz, H.; Dey, H. J.; 1988 yılında; "Polimer beton yapı elemanı modellerinin simülasyonu" konulu çalışmaları; benzerlik ilkeleriyle gerçek yapıya benzer, düşük maliyetli ve kolay yapılabilecek testlerle, polimer beton malzemenin bazı özelliklerinin belirlenmesine yöneliktir. Bunun için PMMA, EP ve UP reçineli polimer betonların numune büyüklüğüne bağlı olarak elastisite modülü ve eğilme mukavemeti incelenmiş ve sonuçta deney numunesi büyüklüğü ile malzeme değerlerinin bağımlı olmadığı gözlenmiştir. Yine burulma etkisindeki polimer beton numunede elastisite modülü değerleri incelenmiş ve sonuçta elastisite modülünün zorlanmanın türüne bağlı olduğu görülmüştür [26].



Dharmarajan, N.: Kumar, S.: Armeniades, C. D.: 1988 yılında, "Polimer beton ve onların bağlayıcıları reçinelerde sürünme için bir birleşim denklemi" isimli araştırmalarında sıcaklık, gerilme, reçine oranı, fiber takviyesi, montmorillonite (MMT) referans sürünme bileşeni ve zamana bağımlı bir birleşim denkleminin, polimer betonlarda sürünme olayını ifade edebilme çalışmasıdır. Şekil 2.33'de poliester (a) ve epoksi (b) polimer betonlar için farklı sıcaklık, gerilme ve reçine oranı değişimine göre, zamana bağlı sürünme uzaması değişimi verilmiştir. Burada poliester ve epoksi reçineli beton için yedi farklı bileşim alınmıştır. Eğilmede sürünme olarak tanımlanmış  $J$  ( $m^2/MN$ ) değerinin zamana bağlı değişimi diğer parametrelerde dikkate alınarak (reçine oranı, gerilme seviyesi ve sıcaklık) incelenmiş ve burada, diğer farklı değerlerinde kullanıldığı testlerden de gözlemlendiği gibi süredeki artışı ile  $J$  değeri de artmıştır [27].

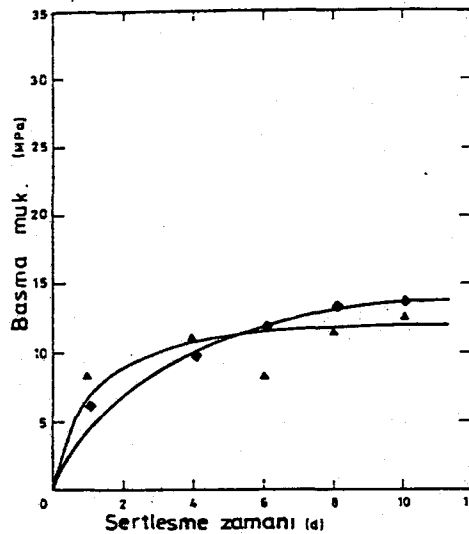


Şekil 2.33 Farklı sıcaklıklardaki polimer betonun sürünmede uzama-zaman ilişkisi

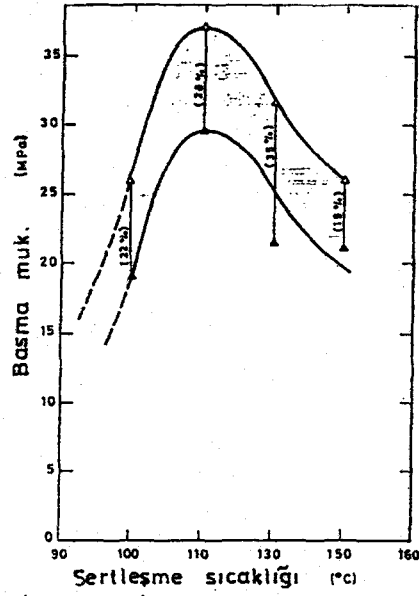
Kemmerle, D.: 1990 yılında yayınlanmış, "Tasarım uygulamalarının optimizasyonuna açık yeni potansiyel; mineral döküm karışımları" konulu çalışmalarında, günümüz takım tezgah yapımının çok yüksek prodüktiviteli gerekliliklere göre karakterize edilebileceğini

buna ilave olarak, olumsuz etkilerin elimine edilebilmesi için yüksek kalitede bir yüzey istekleri olduğu ifade edilmiş ve bunun kesme takımlarının iyileştirilmesi ve bu takımları kullanacak ekipmanların rijitliği ile yüksek tahrik gücüne sahip olmayla mümkün olabileceği belirtilerek, polimer betonun bu isteklere uygun performansa sahip olduğu ileri sürülmektedir [28].

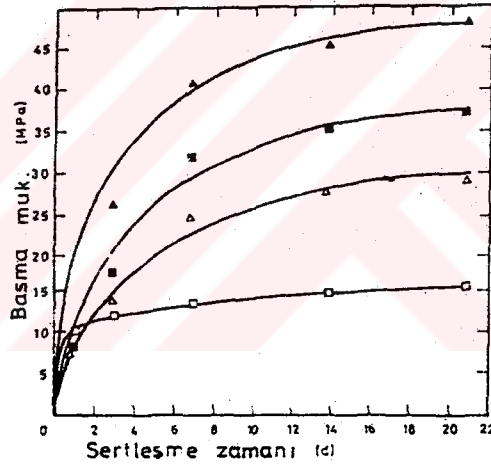
Alzaydi, A. A.; Shihata, S. A.; Alp, T.; 1990 yılında yayınlanmış, "Ürefoormaldehit esaslı yeni bir polimer beton malzemenin basma mukavemeti" isimli çalışmalarında, deneyler için, ürefoormaldehit reçine esaslı polimer betonun 100x100x100 mm (ASTM C-192, BS 1881 part 3) boyutlarında standart numuneleri 90, 100, 110, 130 ve 150°C sıcaklıklar ve reçine oranları için ise (reçine, kuvars ve ince kumdan oluşmuş karışımın toplam ağırlığının % si olarak) %6, 8, 10 ve 13.3 şeklinde alınmıştır. Çalışmada, değişik polimer oranları ve sıcaklıklar için basma mukavemeti-zaman değişimi, değişik sıcaklıklar için basma mukavemeti-reçine oranı değişimi ve değişik reçine oranları için basma mukavemeti sıcaklık değişimleri araştırılmıştır. Sonuçta polimer beton numunelerden polimer oranının %8 ürefoormaldehit emülsiyon bağlayıcı içerikli, 110°C sertleşme sıcaklığında ve 7 günlük sertleşme süresi sonunda basma mukavemeti değeri optimum 37 MPa olarak elde edilmiştir. Portland çimentolu betondan ise su:çimento oranının 0.5:0.7, ve karışım özelliklerinin (reçine oranı:agreganın tipi: kuvars/ince agrega oranı) 1:1.5:3 ve 1:2.5:5 olduğu durumda 21 gün sonunda 50 MPa değerine yaklaştığı görülmüştür. Şekil 2.34'de basma mukavemeti-sertleşme süresi, Şekil 2.35'de basma mukavemeti-sertleşme sıcaklığı ve Şekil 2.36'da ise portland çimento için basma mukavemeti-sertleşme süresi değişimleri verilmiştir [29].



Şekil 2.34 Polimer betonun basma mukavemeti-sertleşme süresi değişimi



Şekil 2.35 Polimer betonun basma mukavemeti-sıcaklık değişimi



Şekil 2.36 Portland çimento betonun basma mukavemeti-sertleşme süresi değişimi

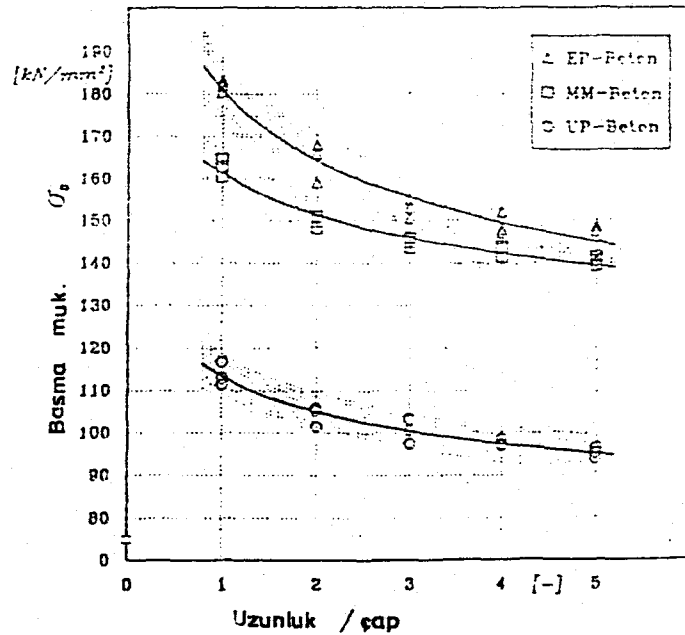
Dey, H., J.; 1991 yılında yayınlanmış, "Makina yapı elemanı olarak polimer betonda kırılma ve şekil değişimi" isimli araştırmasında, EP, MM ve UP reçineli polimer betonların mekanik özelliklerinin belirlenmesine çalışılmıştır. Tablo 2.15'de polimer beton ve dökme demirin karakteristik özellikleri verilmiştir. Tablo 2.16'da ise polimer beton malzeme için bağlayıcı ve dolgu malzemesi % oranları verilmiştir. Şekil 2.37'de % boşluk miktarı ile elastisite modülü değişimi verilmiştir, burada üç farklı reçine tipi içinde minimum boşluklu yapıda maksimum elastisite modülü değeri elde edilmiştir. Şekil 2.38'de % boşluk miktarıyla basma mukavemeti değişimi verilmiştir yine minimum % boşluklu yapıda maksimum basma mukavemet değeri elde edilmiştir. Şekil 2.39'da uzunluk/çap oranıyla basma mukavemeti değişimi EP, MM ve UP reçineli betonlar için verilmiştir. En yüksek değer EP reçineli polimer betonda görülmüştür [30].

Tablo 2.15 Polimer beton ve dökme demirin özellikleri

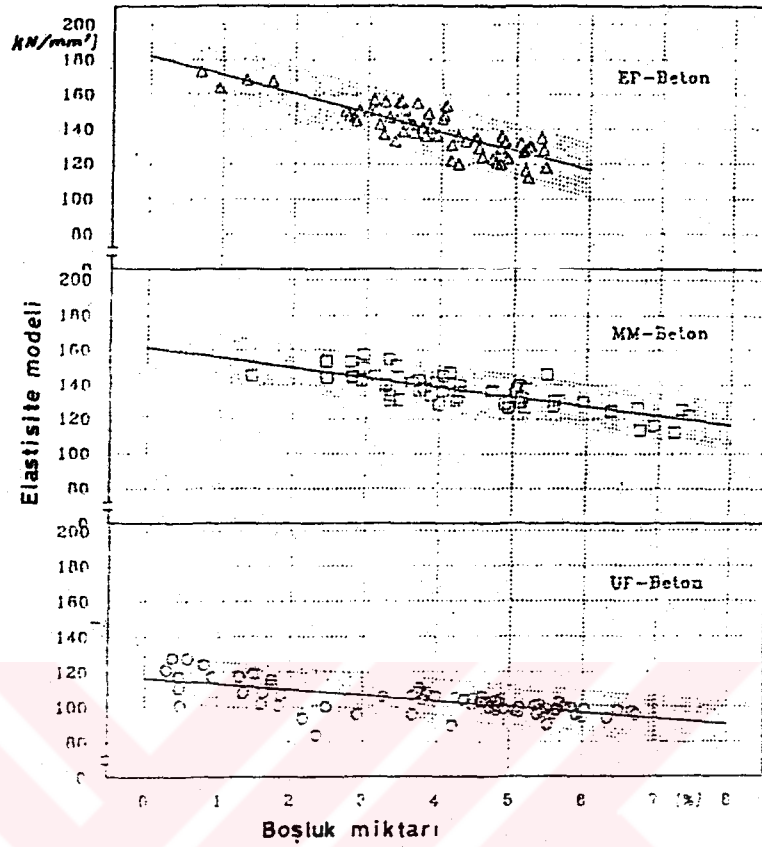
Özellikler	Polimer beton	Dökme demir
Elastisite modülü, $\text{kN/mm}^2$	30-45	80-130
Poisson sayısı	0.2	0.3
Basma mukavemeti, $\text{N/mm}^2$	100-160	700-1200
Eğilme mukavemeti, $\text{N/mm}^2$	25-35	300-600
Çekme mukavemeti, $\text{N/mm}^2$	12-18	150-400
Sönüm	6-8	1
Isıl uzama sabiti, $\text{m/m}^\circ\text{K}$	$17 \times 10^{-6}$	$11 \times 10^{-6}$
Isı iletim katsayısı, $\text{kJ/mh}^\circ\text{K}$	6.8	210

Tablo 2.16 Polimer betonun bağlayıcı ve dolgu malzemesi oranları

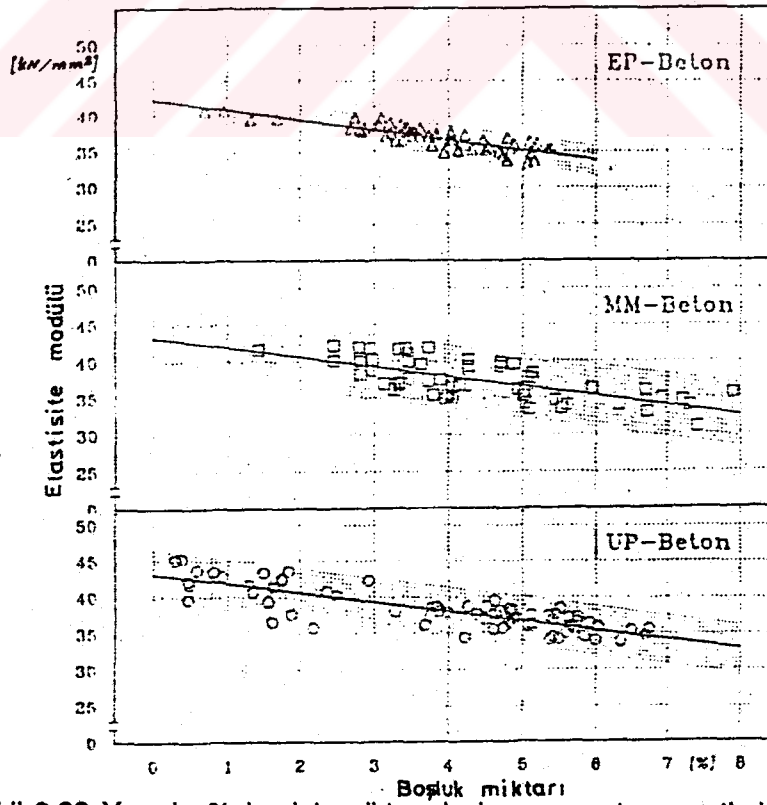
Polimer beton	Bağlayıcı, (B), (%)	Dolgu malzemesi, (F), (%)	B:F
Epoksi reçineli beton	8.33	91.67	1:11
Metakrilat reçineli beton	7.62	92.38	1:12
Poliester reçineli beton	5.55	94.45	1:17



Şekil 2.37 Uzunluk/çap oranı-basma mukavemeti değişimi



Şekil 2.38 Yapıda % boşluk miktarıyla elastisite modülü değişimi



Şekil 2.39 Yapıda % boşluk miktarıyla basma mukavemeti değişimi

Rebeiz, K., S.; Fowler, D., W.; Paul, D., R.; 1991 yılında, "Yenilenebilir "PET (polietilen teraptalat)" reçinenin polimer beton üretiminde kullanımıyla, zaman ve sıcaklığa bağımlı özellikler" ismi ile yayınlanmıştır. Burada, "polimer beton", bir polimer matriks içine doldurulmuş, inorganik dolgu malzemelerinden oluşmuş kompozit bir malzeme olarak tanımlanmıştır. Bu güçlü, dengeli ve hızla sertleşebilen ve bir çok mühendislik uygulamalarında kullanılabilen bir malzemedir. "Polimer beton" un yüksek olan maliyeti kullanılan reçine elemanlarından kaynaklanır ve bu faktör kullanımını sınırlandıran tek etkidir. Maliyeti düşünerek, kaliteli bir "polimer beton" un elde edilmesi, "PET" nin kullanımı ile mümkündür. Bu çalışmada "PET" nin kullanımı ile elde edilmiş "polimer beton" un, yaş, sıcaklık, büzülme, genişleme ve sürünme testlerinin sonuçları tartışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, "PET" ile elde edilmiş "polimer beton" malzeme uzun ömürlü, kolay şekillendirilebilen ve renklendirilen, ucuz üretim masrafı, dengeli ve düşük maliyetli olduğu görülmüştür [31].

Gunasekaran, M.; 1991 yılındaki yayınlarında, "Polimer beton" un sismik ve yalıtkan olarak diğer malzemelere göre üstünlüklerini vermiştir. "Polimer beton" un elektrik alanında izolatör olarak kullanımı konusundaki yararları ve uygulama sonuçları üzerindeki tartışmaları, bu malzemenin standart elektrik porselenleri ve diğer organik malzemeler yerine kullanılabilmesini göstermiştir. "Polimer beton" un mekanik özellikleri yanında belirgin şekilde iyi olan sönümlenme özelliği nedeniyle sismik olaylarda kullanımında gündeme getirmektedir [32].

Kazar'yan, E., L.; Popov, Yu., P. ; Gukasov, N. A.; 1992 yılında, "polimer beton" un üretim teknolojisi ve makinaları üzerindeki çalışmalarıdır. "Polimer beton" ile ilgili değişik makalelerden bir derleme yapılarak özellikleri (Tablo 2.17 ile) verilmiştir. Rusya'da yayın yılı itibarıyla üretim kapasitesinin 100.000 m<sup>2</sup>/yıl olduğu da ifade edilmiştir [33].

Tablo 2.17 Polimer betonun özellikleri

Polimer betonun	Özellikleri
Basma mukavemeti, (mpa)	70
Çekme mukavemeti, (mpa)	7-9
Özgül ağırlığı, (kg/m <sup>3</sup> )	2200-2430
Darbe elastikiyeti, (J/cm <sup>2</sup> )	0.2-0.25
Su emiciliği (24 saatte), (g/cm <sup>2</sup> )	0.015-0.025
Makina yapımı kullanımında:	
Dolgu malzemesi, kuvars veya diğer agregalar, (µm)	0-100, 400-800, 1000-2500
Dolgu malzemeleri nem'i, (% maksimum)	0.5

Rebeiz, K., S.; Fowler, D., W.; Paul, D., R.; 1992 yılında, yeniden dönüşümlü plastik kullanımlı kompozitlerin özelliklerini araştırmışlardır. Burada "PET" nin, kullanılmış plastik şişelerden elde edildiği belirtilerek, geçirimsiz poliester reçine üretiminde de kullanılabilceği ifade edilmiştir. Bu reçineler ile yapılmış "Polimer beton" ve "Polimer harçlar" üzerinde, Teksas Üniversitesinde esneklik davranışları ve mekanik özellikleri ile ilgili araştırmalar da yapılmıştır. Yeniden dönüşümlü reçinelerin, "polimer beton" un şekillendirilmesinde kullanımıyla malzeme maliyetinde azalma sağlanabilmiştir. "Polimer beton" ve "Polimer harçlarda, "PET" nin kullanımı, ayrıca plastiklerdeki bazı katılma problemlerinin çözümüne de yardımcı olduğu ve enerji tasarrufu sağladığı da belirtilmiştir [34].



# BÖLÜM 3

## POLİMER MALZEMELER

### 3.1 TARİHSEL GELİŞİM

Polimer malzemeler (plastik malzemeler), eski çağlardan beri kullanılmaktadır. Endüstriyel uygulamalardaki ilk basamak doğal kauçuk, selüloz, nişasta, bitüm, ahşap amber, boynuz gibi doğal polimerik maddelerin kullanılmasıdır. Doğal polimerik maddelerin endüstriyel kullanımında ortaya çıkan problemlerin başında hammaddenin işlenmesindeki zorluklar ve ürünlerin mekaniksel ve fiziksel özelliklerinin yetersiz olması sayılabilir. Bu ve diğer dezavantajları nedeniyle doğal polimerler yerlerini tarihsel gelişim içinde modifiye edilmiş doğal polimerlere, diğer bir ifade ile yarı sentetik polimerlere bırakmışlardır [35].

İlk çalışmalar 1839'da Simon tarafından stiren ve Schönbein tarafından selüloz nitrat 1863'de ve 1868 yıllarındaki çalışmaları ile Hyatt J. W. pamuk selülozunu nitrik asit ile etkileştirerek, plastik teknolojisinin ilk ürünü olan bu yarı sentetik polimeri ve 1907'de Baekeland L. H. tarafından tamamen sentetik ilk polimer olan fenol formaldehit reçinelerinin (bakalit) üretimini gerçekleştirmiştir. Polimerlerin kimyası ise 1924 yılında Staudinger H.'nın "makro molekül hipotezi" ni ileri sürmesiyle temelini bulmuş ve polimer teknolojisi önemli bir gelişme kaydetmiştir. Doğal kauçuğun ve polistirenin küçük birimlerinin bir arada bulunduğu uzun zincirli moleküllerden oluştuğunu ileri sürerek polimer üretiminin deneme yanılma yaklaşımından kurtulmasına neden olan araştırmacı bu çalışmalarıyla nobel ödülü almıştır.

Makromolekül hipotezi sonraki yıllarda birçok polimerin üretimine ışık tutmuştur. 1927'de selüloz asetat ve polivinil klorür, 1928'de polimetilmetakrilat, 1929'da üreformaldehid reçineleri üretilmiştir. İlk defa 1930'da üretilen polistiren ve sonraki yıllarda, özellikle II.Dünya savaşında önem kazanan stiren-butadien kopolimeri (SBR sentetik kauçuğu) polimer teknolojisinde önemli ürünler olmuşlardır. Yine bir sentetik kauçuk olan neopren (dupren) üretimi 1931'de başlamıştır. Carothers W. doğrusal kondenzasyon polimerizasyonu ile poliester ve poliamid üretimini başlatan ilk araştırmacıdır. 1936'da poliakrilonitril, stiren-akrilonitril kopolimeri ve polivinil asetat, 1937'de Plunkett R. J. tarafından poliüretan, 1938'de teflon ticari adıyla anılan politetrafloroetilen, 1939'da melamin-formaldehit (formika) reçineleri, 1940'da Rochow G. E. tarafından silikonların



hammaddesi olan silanlar, aynı yılda Whinfield J. R. ve Dickinson J. T. tarafından polietilentereftalat, 1942'de doymamış poliesterler ve orlon ticari adıyla poliakrilonitril fiber üretimleri gerçekleştirilmiştir. II.Dünya savaşı yılları, polimer teknolojisinde inanılmayacak kadar hızlı bir gelişmeye neden olmuştur. Savaş sonrası yıllarda yeni polimerlerin sentezi dahada hızlanarak sürmüştür. 1947'de epoksi reçineleri, 1948'de akrilonitril-butadien-stiren terpolimeri (ABS) sentez edilmiştir.

Son yıllarda özellikle yüksek ısı ve mekanik dayanıklılığa sahip poliamid, poliarilsülfonlar poliarilamidler, polifenilsüfit, polibütiterafalat, polietereterketon, polifenil v.b. önemli plastikler geliştirilmiştir. XX ci yüzyılın malzemesi sayabileceğimiz polimerlerin önemi her gereksinmeye uygun yeni yapay bir malzeme üretilmesi olanağının varlığıdır. Buna ekonomi faktörünü de katarsak önemlilik daha da belirgin olacaktır [36]. Günümüzde gelişmeler sonucu yıllık üretim kapasiteleri olağanüstü miktarlara ulaşmıştır.

### 3.2 TANIMLAMA VE SINIFLANDIRMA

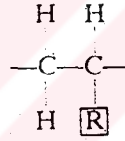
Polimer, "mer" adı verilen basit bir birimin tekrarlanmasıyla oluşan dev moleküllerden oluşmuştur [37]. Oluşum, yüksek molekül ağırlıklı bir bileşik olup buna "makromoleküller" de denilir. Diğer bir ifade ise "büyük moleküllerden oluşan hidrokarbonlardır" şeklindedir. Yani, yapı esasen C ve H atomlarından oluşur. Ancak birleşimlerine O, N, Cl, S gibi metaller veya yumuşak metaller'de girebilir. Na, K gibi alkali metal içerenler de vardır. Dev molekül oluşumunun nedeni olan C'nun yine C ile birleşebilme özelliği Si'da da vardır ve dev molekülü Si birleşimleri de polimerler grubuna dahil edilebilir [36].

Polimerler doğal veya sentetik olabilir. Doğal polimerlerin modifikasyonu ile elde edilen polimerlere yarı sentetik polimerler denir. Polimerler kimyasal bileşimlerine göre organik ve inorganik polimerler olarak adlandırılabilirler. Eğer polimer zinciri üzerinde dizili atomların hepsi aynı türden ise bu polimerler "homozincir", farklı atomlar ise "heterozincir" polimerler olarak adlandırılırlar. Polimerleri yapılarına göre ise; tek bir monomer biriminin tekrarlanması ile oluşan polimerler "homopolimer", iki monomerin karışımından oluşuyorsa "kopolimer" ve üç monomerin karışımından oluşuyorsa "terpolimer" adını alırlar. Yüksek polimerler, canlı ve gıda maddelerinin esasını oluşturan biyolojik molekül ile mühendislik polimerleri şeklinde iki ana gruba ayrılabilirler [38].

Polimerler, endüstride kullanımı ve mühendislik malzemesi olarak, termoplastikler (polietilen), termosetler veya reçineler (epoksiler, iki bileşenli reçine ve sertleştirici ile ifade edilir), elastomerler veya kauçuklar ve doğal polimerler (selüloz, lignin ve protein gibi temelde bitki ve hayvanların yaşamından) şeklinde dört gruba ayrılırlar [39].

### 3.2.1 Termoplastikler

Termoplastiklerin yapısı, uzun zincir formunda monomerlerin birbirlerine ilavesi şeklindedir. Zincir molekülleri, lineer veya dallanmış zincirlidir. Doğrusal yapıda olduklarından çoğu kez lineer polimerler olarak adlandırılırlar. Tek moleküller sadece iki adet reaksiyon kabiliyeti olan noktaya sahiptir. Enerji ilavesi zincirin ısı hareketini artırır, sekonder bağlar zayıflar, böylece zincir molekülleri birbirleri arasında kaydırılabilirler. Dolayısıyla polimer plastik olarak şekil değiştirebilir [40,41,42,43]. Isı ve basınç altında yumuşarlar, akarlar, uygun çözücülerde çözülebilir ve çeşitli formlara dönüştürülebilirler. Soğumaya terkedildiklerinde tekrar ilk sertliklerine dönebilen maddelerdir [44]. Daha yüksek sıcaklıklarda primer bağlar parçalanır ve küçük zincirler oluşur (gazlar, sıvılar). Malzeme hasar görür, dışarıdan renk değişimi, kabarcık teşekkülü ve kömürleşme ile kendini belli eder. Termoplastiklerin geneli polietilen dir. Şekil 3.1'de genelde termoplastikler için yapı verilmiştir. Burada R kökü polietilen'de olduğu gibi H ile veya  $-CH_3$  (polipropilen) veya  $-Cl$  (polivinilklorit) olabilir. Termoplastiklerin yapısı ve kullanım alanları Tablo 3.1'de verilmiştir [39].



Şekil 3.1 Termoplastiklerin genel formu

### 3.2.2 Termosetler

Termosetler, üç boyutlu kuvvetli ağlaşmış makromoleküllüdür. Çapraz (zincirli) bağlıdırlar. Tek moleküller reaksiyon kabiliyeti olan üç veya daha çok noktaya sahiptir. Isı ilavesi ile ağ şeklinde ve iç içe örülmüş makromoleküller birbirleri arasında kaymazlar. Ergitilemez, hemen hemen hiç çözünmez, sert ve dayanıklı polimerlerdir. Ancak yüksek sıcaklıkta zarar görürler ve sıcaklık sonucu oluşan hasar varsa kalıcıdır. Ağ oluşumunun derecesi polimerin mekanik özelliklerini etkiler [40]. Yapıda çapraz bağların sayısı az ise elastik ve plastik deformasyon kabiliyeti yüksek katılar, bağların sayısı çok fazla ise plastik deformasyon göstermeyen gevrek katılar ortaya çıkar [38]. Genelde, örneğin epoksilerde olduğu gibi bir reçine ve sertleştirici olmak üzere iki bileşenden oluşurlar. Tablo 3.2'de termosetler verilmiştir [39].

Tablo 3.1 Termoplastikler

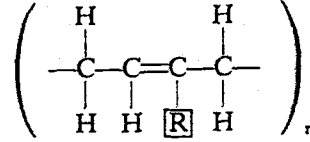
TERMOPLASTİKLER		
Termoplastik	Bileşim	Kullanımı
Poliyeten PE	$\left( \begin{array}{c} \text{H} \\   \\ -\text{C}- \\   \\ \text{H} \end{array} \right)_n$ Kısmen kristalin	Boru hattı, film, şişe, bardak, elektriksel izolatör, ambalaj.
Polipropilen PP	$\left( \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{CH}_3 \end{array} \right)_n$ Kısmen kristalin	PE'nin kullandığı yerler yanında daha hafif, katı ve güneş ışığına karşı daha dirençli.
Poltetrafloretilen PTFE	$\left( \begin{array}{c} \text{F} \\   \\ -\text{C}- \\   \\ \text{F} \end{array} \right)_n$ Kısmen kristalin	Teflon. İyi, yüksek sıcaklıklarda polimer ile çok düşük sürtünme ve yapışma karakteristikleri. Tencere sapları, yataklar ve contalar.
Polistiren PS	$\left( \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{C}_6\text{H}_5 \end{array} \right)_n$ Amorf	Kolay kalıplanabilir objeler. Butadien ile yüksek dayanımlı (HIPS) polistiren yapımı. CO <sub>2</sub> ile süngerimsi pratik ambalaj imali.
Polivinilklorit PVC	$\left( \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{Cl} \end{array} \right)_n$ Amorf	Mimarlıkta, pencere doğramaları, vb. Plastik esaslı suni deri, çarp ve elbise yapımında.
Polimetilmetakrilat PMMA	$\left( \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{CCH}_3 \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{COOCH}_3 \end{array} \right)_n$ Amorf	Perspekt, lucite. Şeffaf levha ve kaplamalar. Uçak camları (rüzgar camları).
Naylon 66	$(-\text{C}_6\text{H}_{11}\text{NO}-)_n$ Çekildiğinde yarı kristalin	Tekstil, ip, kaplama.

Tablo 3.2 Termosetler

TERMOSETLER (REÇİNELER)		
Termoset	Bileşimi	Kullanımı
Epoksi	$\left( \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ -\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_2- \\   \\ \text{CH}_3 \end{array} \right)_n$ Amorf	Fiberglas, yapıştırıcı. Pahalı.
Poliester	$\left( \begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \quad \text{CH}_2\text{OH} \\    \quad    \quad   \\ -\text{C}-\text{(CH}_2\text{)}_n-\text{C}-\text{O}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{CH}_2\text{OH} \end{array} \right)_n$ Amorf	Fiberglas. Epokside ucuz.
Fenol-formaldehit	$\left( \begin{array}{c} \text{OH} \\   \\ -\text{C}_6\text{H}_3-\text{CH}_2- \\   \\ \text{CH}_2 \end{array} \right)_n$ Amorf	Bakalit, tufnel, formika. Bir hayli gevrek.

### 3.2.3 Elastomerler

Elastomerlerde zincir molekülleri düşük ağ teşekkülüdür. Zincir molekülleri primer bağlarla geniş aralıklı ağlar oluşturur. Böylece zincirlerin kayması mümkün olmaz, fakat zincirlerin ağ düğüm noktaları arasında uzama imkanı doğar. Elastomerler, yapı oluşumundan sonra artık sıvılaşmazlar, ergime özellikleri yoktur, yumuşak elastiktir



Şekil 3.2 Elastomerlerin genel formu

(lastik), eski halini alma kabiliyeti yüksektir [40]. Sıvı ve gazları emerek içlerine alabilirler. Polibütadien poliüretan, kauçuk, poliolefin kauçuk, silikon kauçuk önemli bazı elastomerlerdir. Genelde kauçukların tümü esasen tek bir yapı ile Şekil 3.2'deki biçimde verilmiştir. Burada R ; H, CH<sub>3</sub> veya Cl ile oluşabilir. Aşağıdaki Tablo 3.3'de elastomerlerin yapısı ve kullanım alanları verilmiştir [39].

Tablo 3.3 Elastomerler

ELASTOMERLER		
Elastomer	Bileşimi	Kullanımı
Polizopren	$\left( \begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\   & &   \\ -\text{C} & - & \text{C} = \text{C} & - & \text{C}- \\   &   &   &   \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array} \right)_n$ <p>Yüksek uzamalar haricinde amorf</p>	Doğal kauçuk.
Polibütadien	$\left( \begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\   & &   \\ -\text{C} & - & \text{C} = \text{C} & - & \text{C}- \\   &   &   &   \\ \text{H} & \text{H} & \text{H} & \text{H} \end{array} \right)_n$ <p>Yüksek uzamalar haricinde amorf</p>	Sentetik kauçuk, otomobil lastiği.
Polikloropren	$\left( \begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\   & &   \\ -\text{C} & - & \text{C} = \text{C} & - & \text{C}- \\   &   &   &   \\ \text{H} & \text{H} & \text{Cl} & \text{H} \end{array} \right)_n$ <p>Yüksek uzamalar haricinde amorf</p>	Neopren. Yağ dirençli kauçuk contalar için kullanılır.

### 3.2.4 Doğal Polimerler

Doğal polimerler, farklı yapıda değişik birimlerin biraraya gelmesiyle oluşmuştur. Yaşamla ilgili birçok önemli faaliyetin yürütülmesinde rol alan protein, nükleik asit ve enzimler bu tür doğal polimerlere örnektir. Karmaşık yapıları yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerdir [35].

Tablo 3.4'de doğal polimerlerin genel yapısı ve kullanımı verilmiştir [39].

Tablo 3.4 Doğal polimerler

DOĞAL POLİMERLER		
Doğal polimer	Bileşim	Kullanımı
Selüloz	$(-C_6H_7O_2-)_n$ Kristalin	Tüm bitkilerin yaşamının temeli. Setofan, rayon, kağıt, plastik.
Lignin	Amerl	Tüm bitkilerin yaşamında selüloz kadar önemli diğer eleman. Kağıt üretimi.
Protein	$\left( \begin{array}{c} \text{R} \\   \\ -\text{NH}-\text{C}-\text{C}- \\   \quad    \\ \text{H} \quad \text{O} \end{array} \right)_n$ Kükürt kök. Kısmen kristalin	Jelatin, yün, ipek.

### 3.3 POLİMER TEKNOLOJİSİNDE HAMMADDELER

Polimerlerin üretilmesinde kullanılan çeşitli girdiler başlıca iki tür kaynaktan elde edilmektedir. Bunlar; "Yenilenebilir" ve "Tüklenen" kaynaklardır. Yenilenebilir kaynaklar arasında, doğal kauçuğun ve selüloz, agaroz, aljin asit v.b. gibi polisakkaritlerin elde edildiği odun, çeşitli bitkiler, algler v.b. gibi sayılabilir. Yenilenebilir kaynaklardan elde edilen endüstriyel boyutta en önemli girdi selülozdur. Bu doğal polimer için birincil kaynak odundur. Endüstriyel polimerler içinde en önemli yeri şüphesiz poliolefinler alır. Doğal gazdaki temel bileşen metan, bilindiği gibi dünyada üretilen kimyasal maddeler arasında hacim olarak en çok üretilenler arasında yer alan üre metanol, formaldehid ve asetik asit için önemli bir girdidir. Bilindiği gibi bu maddeler polimer teknolojisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kömür, tükenen kaynaklar arasında polimer teknolojisine önemli bir kaynak olma özelliğine sahiptir [35].

### 3.4 POLİMERLERİN YAPISI

#### 3.4.1 Bağlar Ve Zincir Uzunluğunun Etkisi

##### 3.4.1.1 Birincil Bağlar

Bir polimer molekülü karbon, oksijen, azot, kükürt, gibi atomların kovalent (birincil) bağlarla bağlandığı uzun bir zincirdir. Polimer zincirinin halkaları arasındaki (monomerin cinsinde bağlı olan) bu bağlar, kuvvetli kimyasal bağlar olup primer kuvvetler olarak da

adlandırılır. Kovalent bağlar genellikle yüksek enerjili (35 - 150 kcal/mol) bağlardır. Bunlarda atomlar arasındaki uzaklık kısadır.

#### 3.4.1.2 İkincil Bağlar

Zincir molekülleri arasında kimyasal bağlar yoktur. Bu bağlar daha zayıf olan ve mesafeyle değişen fiziksel kuvvetler olup makromoleküllerdeki elektron hareketi sonucu veya makromoleküllerin polar yan gruplarında ortaya çıkarlar. Sonuç olarak bu kuvvetlere sekonder bağlar adı verilir. Sekonder bağların kuvveti polimerin mekanik ve termik özelliklerini belirler. Zincir molekülleri arasında kimyasal bağlar yoktur. Zincirin şekline, düzenine ve sıcaklığa da bağlıdır [40]. İkincil kuvvetlerin oluşturduğu bağların enerjileri 1-20 kcal/mol dur. Van der Waals kuvvetleri olarak da adlandırılan ikincil kuvvetler genellikle kısa mesafede etkin kuvvetlerdir.

Polimerik yapıda bağlar polimerik malzemenin özelliklerini önemli oranda etkiler. Genel olarak, birincil bağlar olan kovalent bağlar, yapının ısı ve fotokimyasal kararlılığını belirler. Buna karşın yukarıda belirtilen çeşitli türdeki ikincil bağlar ise, polimerlerin erime çözünme, buharlaşma, adsorpsiyon, difüzyon, deformasyon v.b. birçok kimyasal ve fiziksel özelliğini kontrol eder [35].

Zincir uzunluğunun artmasıyla moleküller arası temas yüzeyide artar ve bağlar kuvvetlenir. Bunun sonucu, çekme mukavemeti, sertlik ve tokluk artar. Karbon zincirlerinin yapısı tek, çift veya üçlü bağlardan oluşabilir. Tekli bağ halinde zincirler düz olmayıp aralarında  $(109.5)^\circ$  lik bir açı vardır [38]. Malzemeye uygulanan gerilmeyle kıvrılmış olan zincirler açılarak düzleşirler. Bu gerçekte bu tür malzemelerin çok yüksek oranda plastik veya elastik deformasyon gösterebilmelerinin nedenidir. Deformasyona karşı dirençlerinde hem zincirler arasındaki Van der Waals kuvvetleri hem de birbirine karışmış, dolanmış zincirlerin mekanik bir engel oluşturmaları rol oynar.

#### 3.4.2 Moleküller Arası Düzen

Polimerler katı, sıvı veya çözelti halde bulunabilirler ve tüm bu hallerde farklı yapılar gösterirler. Yapının durumu ile ısı, mekanik ve diğer fiziksel özellikleri yakından ilgilidir. Polimerin katı hal yapısında kristalin veya amorf bölgelerin varlığı, bunların büyüklüğü biçimi yerleşme düzeni ve yapı içindeki dağılımı önemlidir. Katı haldeki bir polimerde, amorf yapı, kristalin yapı ve yönlendirilmiş yapı şeklinde üç intermoleküler düzen söz konusudur [35].

### 3.4.2.1 Amorf Yapı

Polimer bir spagetti demetine veya canlı bir solucan yığınınına benzetilir. Yapı içinde polimer molekülleri veya segmentleri sürekli hareket halindedir. Zincirler bir konformasyondan öbürüne gelişigüzel dönme ve bükülme hareketleri yaparlar. Sıcaklık artışı ile hareketlilik artar. Belli bir sıcaklığın altında (camsı sıcaklığı) yapı donmuş gibi camsı ve kırılgandır, gerilmelere karşı çok az bir dayanımı vardır. Sıcaklığın üzerinde ise yapı kauçuğumsu bir hal almıştır. Bu halde dış kuvvetlerin etkisiyle tersinmez deformasyonlar gözlenir.

### 3.4.2.2 Kristalin Yapı

Kristalin polimerlerdeki kristalin birimler (hücreler) de, atomlar belirli noktalara yerleşmiş ve hareketsiz bir düzen içine girmişlerdir. Polimerin kristallenebilme özelliğine bağlı olarak bu birim elemanlar daha büyük, çeşitli biçimlerde yapısal şekiller oluşturmak üzere bir araya gelir. Katı halde polimerler genellikle %100 kristalin yapı yerine amorf ve kristalin karışımı bir yapı gösterirler veya katlanmış zincir modelinde polimer zincirinin belli bölümlerinde zincir katlanmalar yaparak genelde üç boyutlu "lamelar" bir düzen içinde kristallenme oluşur. Ergime bölgesi, çekme mukavemeti, E- modülü ve sertlik yükselir, çözümlendiricilere karşı dayanıklılığı da artar. Titreşim yutma kabiliyeti, darbe sünekliği, kopma uzaması, ısıl genleşme, gaz ve ışık geçirgenliği azalır.

### 3.4.2.3 Yönlenmiş Yapı

Erimiş bir polimer soğutulursa, gelişigüzel yönlenmede amorf veya kristalin katı yapı oluşur. Katılaşma veya şekil değiştirme sırasında polimerik malzeme çekilirse moleküller yaklaşık paralel hale gelir ve çekme yönünde polimer zincirleri yönlenir. Yönlenme, zincirlerin belli bir hareketliliği ile amorf bölgeler üzerinden olur ve eğer kristalin yapıda yeterli amorf bölge yoksa yönlenme olmaz. Yönlenmiş bu hal (kısmi kristalleşme) ile mukavemet ve uzama kabiliyeti bu yönde kuvvetli bir artma gösterir [40].

### 3.4.3 Polimerlerin Molekül Ağırlığı

Bir polimerin molekül ağırlığı ve dağılımı polimerik malzemenin özellikleri yönünden çok önemlidir. Genellikle molekül ağırlığının artmasıyla yapıda griftlik ve moleküller arası çekim kuvvetleri artar ki bu da polimerik yapının mekanik ve ısıl özelliklerini başta olmak üzere işlenebilirliği, elektriksel optik ve kimyasal özelliklerini önemli oranda değiştirir. Yüksek molekül ağırlıklı polimerler hazırlanarak yapının mekanik özelliklerinde önemli bir

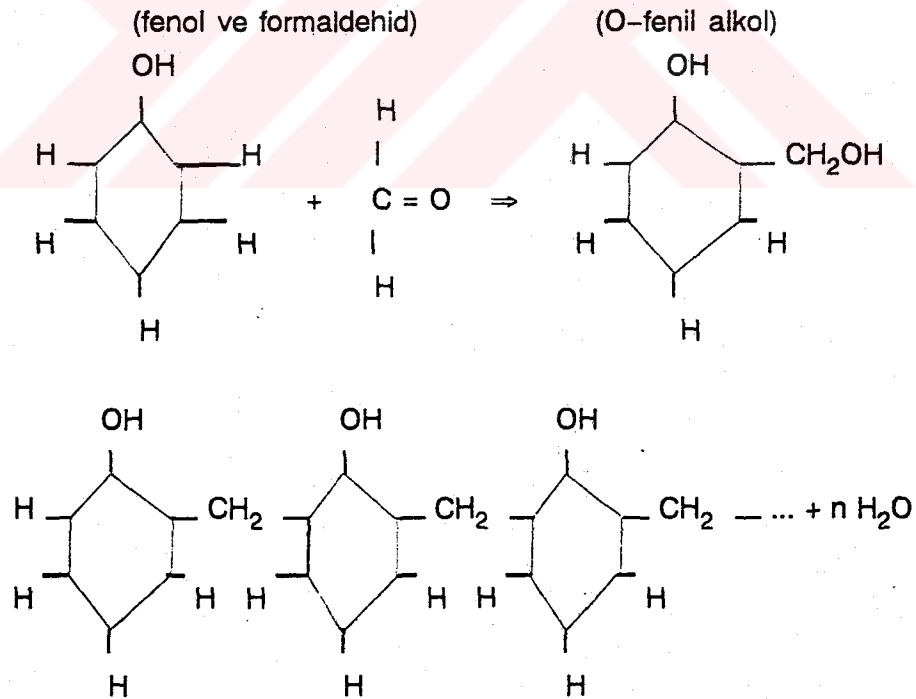
gelişme sağlanırken, işlenebilirlikleri son derece zorlaşmaktadır. Hem işlenebilirlik hem de yeterli mekanik özelliklere sahip ticari polimerik ürünlerde molekül ağırlığının  $10^4-10^6$  arasında olması istenir. Sentetik polimerlerde 10 milyona kadar olan ürünler hazırlanabilir. Doğal polimerlerin ve biyopolimerlerin molekül ağırlıkları çok daha yüksektir [35].

### 3.4.4 Makro Molekülleri Oluşturan Kimyasal Reaksiyonlar

Düşük moleküllü karbon bileşikleri kimyasal reaksiyonlar ile makromoleküller halinde bağlanırlar. Makromolekülleri oluşturan kimyasal reaksiyonlar üç çeşittir. Bunlar; Polikondenzasyon (1907'de Baekaland tarafından fenol formaldehid (bakalit) üzerinde teknik olarak çözülmüştür), Polimerizasyon (1912'de Klatt tarafından Almanya'da Polivinilklorür üzerinde araştırılmıştır) ve Poliadiasyon (1935'de Bayer tarafından poliüretan üzerinde bulunmuş) dur.

#### 3.4.4.1 Polikondenzasyon

Makromolekül halinde birleşmiş birçok temel molekülün parçalanarak küçük moleküllü bir yan ürünün oluşumu anlaşılır. Ayrışan madde genellikle su'dur, nadir hallerde



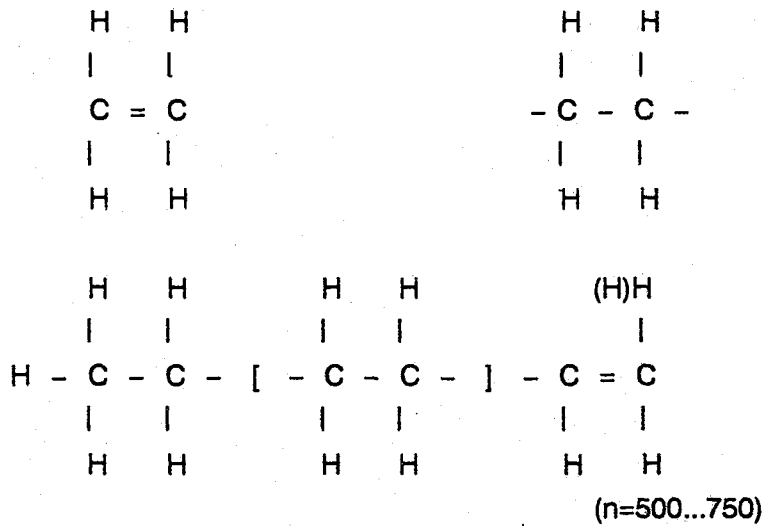
Şekil 3.3 Fenol ve formaldehidin polikondenzasyonu



amonyak ta olabilir ve bu nedenle olaya "kondenzasyon" adı verilmiştir. Olay ısı verilerek katalizörlerle ve yan ürünün alınması ile kontrol altında tutulur. Mümkün olan değişimlere bir örnek Şekil 3.3; fenolün, formaldehid ile fenol reçinesine dönüşümü verilebilir [45]. Bu sırada oluşan OH- grubu, komşu H- atomu ile birleşerek H<sub>2</sub>O oluşturarak valanslar serbest kalacak ve bunun yardımı ile kalan molekül artıkları birbirleriyle birleşecektir.

#### 3.4.4.2 Polimerizasyon

Temel moleküllerden zincir şeklinde oluşan ve hiçbir yan ürün vermeyen makromoleküller anlaşılır. Bu ürüne "polimerizat" denilir. Bir malzemenin, polimerizasyona uğrayabilmesi için gerekli fakat yeterli olmayan şart, çok bağlantılı karbondur. Bu şekildeki doymamış malzemeler, doymuş malzemelerden daha fazla reaksiyona uğrayabilir. Bir örnek, Şekil 3.4; etilenin, polietilene dönüşümü gösterilmiştir [45]. Burada, etilenin başlama reaksiyonu; dış etkilerle (ısıtma gibi), monomerler uyarılır yani çift bağıntılar dan serbest valanslar oluşur. Etilen kökü; çift bağı açılır ve büyüme reaksiyonu ile birçok kök, bir zincir olarak birleşir. Polimerizasyon ısı açığa çıkaran bir zincir reaksiyon olduğu için sıcaklık giderek artar. Parçacıkların ısı hareketleri zincir moleküllerin büyümesini engellediğinden farklı uzunluklarda olan makromoleküller oluşur. Belirli şekle sahip moleküllerin oluşumu için reaksiyonun ısı iletimi katalizör ve reaksiyon ayarlayıcılar ile istenilen şekilde yönlendirilmelidir. Ancak bu halde istenmeyen şekle sahip birleşmeler engellenebilir [40]. Kırılma reaksiyonu; zincirin kopması, ana malzemenin tükenmesi ile veya zincir uçlarındaki valansların, yabancı gruplarla doyurulması ile veya burada gösterildiği gibi hidrojen atomunun yer değiştirmesi ile meydana gelir ve etilen makromolekülü oluşur.

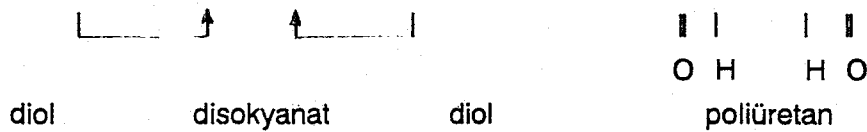
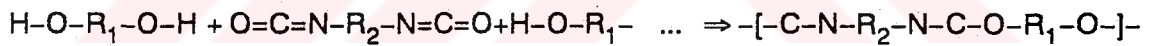


Şekil 3.4 Etilenin polimerizasyonu

Gerçekte H-atomu makro kökler boyunca değil de örneğin, tesadüfen yakında bulunan diğer bir makro kökün başlangıcında olabilir. Bu örnekte görülebileceği gibi aynı monomerler birbirleri üzerine gelerek "kısa polimerizasyon" oluşturur. Elde edilen polimer toz veya granüle haldedir. Bu ürün termoplastik şekillendirme için katkı maddeleri ile karıştırılır. Eğer çeşitli temel moleküller çok ve az sayıda değişerek, birbirlerine zincir halinde bağlanmışlarsa bu olaya "kopolimerizasyon" denir. Bu arada polimerizasyondan önce, çeşitli malzemeler birbirleri ile karışacaktır. Kopolimerizasyona örnek olarak vinilklorür ve vinilasetat üretimi verilebilir. Polimerizasyon; "kütlesel polimerizasyon", monomer sıvı maddenin yavaş yavaş katı polimerizat içerisine verildiği; "solüsyon halde polimerizasyon", monomer ve katalizörün aynı solvent'te eritildiği; "emülsiyon polimerizasyonu", solvent olarak su kullanıldığı ve "süspansiyon halde polimerizasyon", kütlesel ve emülsiyon polimerizasyonunun ara çözümü gibi değişik şekillerde oluşabilir.

#### 3.4.4.3 Poliadişyon

Makromolekülün çeşitli bileşenleri birbiri ile birleşirler ve polikondensasyonun aksine olarak bir yan ürün vermezler ve ayrıca kopolimerizasyonda olduğu gibi karbon çift bağını karşıklı olarak birbiri ile bağlanmazlar. Örnek, Şekil 3.5, diol (çift OH-gruplu alkol) ve bir disokyanat (disokyanat, çift izokyan -N=C=O gruplu malzeme) verilir. Daha iyi anlaşılması için, izokyan ve OH-grupları açık olarak yazılıp geri kalanlar R<sub>1</sub> ve R<sub>2</sub> ile gösterilmiştir [45].



Şekil 3.5 Diol ve disokyanatın poliadişyonu

N-atomunun çift bağlantısı açılacaktır. Bu sırada N 'un serbest kalan valansı OH-grubunun H-atomuna kayarak bundan sonra O-atomlarının serbest valansları ile birleşir. Bu ürüne poliadukt denir.

#### 3.4.5 Polimer Çözeltileri ve Jel Hali

Polimerlerin küçük molekül ağırlıklı sıvılarla etkileşmesi pratik yönden çok önemlidir. Polimerler sıvılarla temasa geçince gerçek çözünme veya jel oluşumu izlenir. Polimerik yapının çözücü ile şişmiş haline "jel hali" denir. Polimerlerin şişme veya çözümlerini



etkileyen çeşitli parametreler vardır. Bunlardan önemli olanları; polimer ve çözücünün kimyasal yapısı, molekül ağırlığı, polimer zincirinin esnekliği, istiflenme yoğunluğu polimer zincirinin kimyasal bileşiminin heterojenliği, amorf ve kristalin yapı, çapraz bağlanma ve sıcaklık olarak verilebilir. Jel halindeki polimerler, elastomerlerde olduğu gibi kauçuğumsu, elastik katı davranışı gösterirler. İkincil kuvvetlerle oluşturulan jeller mekanik olarak zayıftır. Mekaniksel dayanıklılıkları yüksek, çözünmez jeller elde etmek için polimerik yapıda çapraz bağ oluşturmak gerekir. Çapraz bağ jel esnekliğini kontrol eden en önemli parametreler arasındadır. Çapraz bağ yoğunluğu arttıkça jelin şişme kabiliyeti azalır ve yapı sertleşir [35].

### 3.5 KATKI MADDELERİ

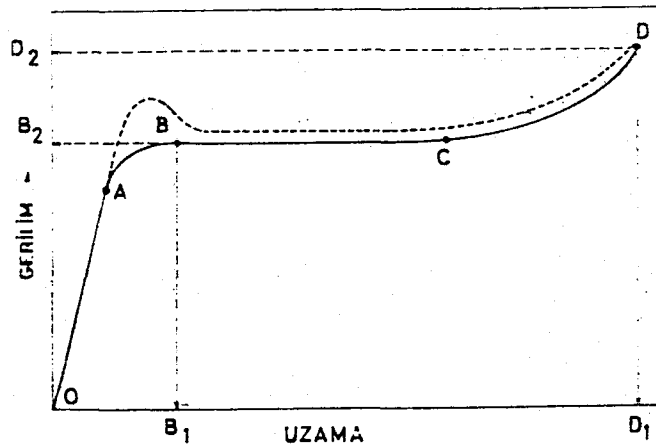
Görevleri, işlem sırasında veya hazırlanmış parçada belirli özellikler yaratmaktır. Bunlar; Antioksidantlar, oksidasyona karşı kullanılır (fenoller, parafenilen, diamin). Antistatik ajanlar, elektrostatik yüklenmeyi önlemek için kullanılır (yağ asitlerinin amonyum tuzları etoksil gliserin esterleri). Birleştirici ajanlar, organik polimerin, inorganik dolgu maddesi kullanıldığında yapısal uyum sağlamak için kullanılır (silanlar). Dolgu maddeleri, polimerik malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerini geliştirip maliyeti azaltmak için kullanılır (organik; lignin, protein, selülozik maddeler ve inorganik; metal oksitler, kuvarz, cam fiberler). Isıl stabilizatörler, ısıl bozunmayı yavaşlatmak veya önlemek için kullanılır (sıvı sert yapı, gıda ve tıpta farklı maddeler kullanılır ; Ba/Cd/Zn'nin oktoatı, fosfit, Ca/Zn stabilizatörleri Mg/Na sabunları ile ve epoksilenmiş pamuk). Kaydırıcılar, işleme sırasındaki problemleri gidermek için kullanılır (yağ alkollerini yağ asitlerin esterleri poliestерler). Kalıp salıcı ajanlar, ürünün kalıptan ayrılması için kullanılır (vakslar, silikonlar ve metalik stearatlar). Koruyucu ajanlar, malzemeyi mikrobiyal ataklara karşı korur (bakırkilonilat faldan tetrahidroftalimid). Plastikleştiriciler, polimeri yumuşatmak için kullanılır (dioktilfaldat, trikrezilfosfat). Renklendiriciler, polimerik malzemenin renklendirilmesi için kullanılır (boyalar ve pigmentler dir, organik pigmentler; diazo izoindolinon ve inorganik pigmentler; titan oksit ferri siyanürler, titanlar). Ultraviyole stabilizatörler, güneş ışınları ile bozunmayı önlemek için kullanılır (salisilatlar hidroksibenzofenon, aminler). Viskozite düşürücüler, ilave maddelerin sıvı viskozitesini azaltması durumunda kullanılır (etoksilenmiş yağ asitleri). Yanmazlık veren maddeler, yanmayı azaltmak veya önlemek için ilave edilen kimyasallardır (klorlanmış parafin tetrametil bisfenol-A, vinil bromür). Köpük yapıcılar, polimer köpüğü eldesi için kullanılırlar (etilen-vinilasetat kopolimeri, ozobis foramid).

### 3.6 POLİMERLERİN ÖZELLİKLERİ

Polimer malzemelerin özelliklerini, mekanik (çekme, basma mukavemeti, çentik darbe direnci, sertlik, yorulma, sönüm, şekillenebilme kabiliyeti), fiziksel ve kimyasal (özgül ağırlık, kimyasal direnç, sürtünme ve aşınma, özgül ısı, ısı iletkenlik, genişleme katsayısı, yanıcılık, sıcaklığa dayanıklılık, ışık geçirgenliği, su emmesi), elektriksel (dielektrik sabiti, yalıtım direnci, ark direnci) olarak üç grupta sınıflandırabiliriz. Çalışmanın içeriği doğrultusunda burada polimer malzemelerdeki mekanik ve ısıl özelliklere değinilmiştir.

#### 3.6.1 Mekanik Özellikler

Polimerik malzemeler, yapılarına, işlenme tekniklerine ve kullandıkları çevre koşullarına göre değişen mekanik özellikler gösterirler. Beklentilerin başında, kullanılacağı yere göre belli sertlik ve sağlamlıkta olması ve mekanik özelliklerini istenilen süre koruyabilmesi gelir. Genelde mekanik özellikler denilince, dış kuvvetlerin etkisiyle ortaya çıkan, uzama, akma, kopma v.b. deformasyonlar akla gelir. Polimerik malzemelerin en önemli özelliği bu deformasyonların sıcaklık ve zamana bağımlılığıdır. Dört ana değişken, kuvvet-deformasyon-sıcaklık-zaman arasındaki ilişkiler son derece karmaşıktır [35]. Polimerik malzemelere gerilim uygulandığında elastik, plastik veya viskoelastik şekil değişimi ortaya çıkar. Polimer malzemelerin değişik tipleri, bağlar, zincirler arası uzunluklar, moleküller arası düzen ve yapısal duruma göre, etkiyen zorlanmalar karşısında değişik davranışlar gösterir. Gerilme uygulanmış malzemede yönlenmiş bir yapı gözlenir. Uygulanan gerilme etkisinde malzeme fazla bekletilirse moleküllerin birbirlerine göre konumlarında değişme olur ve molekül kayma başlar. Molekül ağırlığı arttığında gerilim düşmesi uzar. Çapraz bağlanma arttıkça molekül düzelme oranı artar, molekül kayma azalır veya hiç olmaz. Kristallerin oranı arttığında deformasyon miktarı

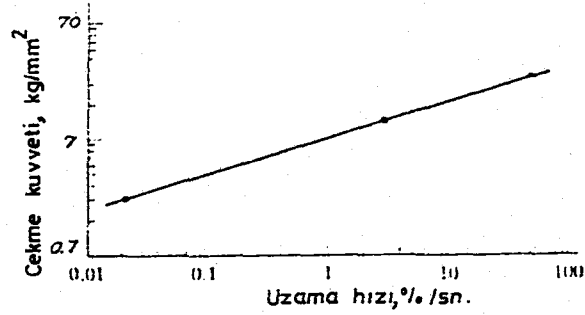


Şekil 3.6 Gerilmenin uzama hızı ile ilişkisi

azalır ve mukavemet artar [38]. Yüksek sıcaklık ve yükleme hızında polimerin mekanik davranışını etkiler. Yavaş artan yük altında önemli miktarda şekil değiştiren ve düşük gerilmede kalan polimer hızlı artan yük etkisinde çok daha az şekil değiştirerek daha yüksek mukavemet gösterir. Yüksek sıcaklıkta viskoz davranış gösteren bir plastik düşük sıcaklıkta rijit ve gevrek olabilir. Viskoelastik malzemelerde elastisite modülü zamana bağlıdır [46]. Şekil 3.6'da ham kauçuk için yapılmış deneyde, yavaş deformasyon hızı uygulanan gerilime uymaya fırsat verir ve deformasyona karşı daha az direnç olur [47].

### 3.6.1.1 Çekme Özellikleri

Polimerin yukarıda açıklandığı üzere değişik yapılarda oluşu, çekme özelliklerinin metallere farklılıklar göstermelerine neden olur. Test şartları ve yöntemin farklılığı da aynı tür malzemenin çekme özelliklerinin karşılaştırılmasında, farklılıklar yaratır. Bunların giderilmesi için deneylerin aynı şartlarda yapılması gerekir. Gerilme-uzama eğrileri polimerik malzemelerin mekanik özellikleriyle ilgili birçok bilgi vermektedir. Şekil 3.7'den; doğrusal OA bölgesi, polimerik malzemede elastik deformasyonu verir. Doğrunun eğimi, malzemenin sertliğini gösteren "young modülü" nü, doğru altındaki alan, malzemenin kalıcı deformasyona uğramadan absorblayabileceği enerji miktarını verir. Polimerik malzemenin "sert" ve "yumuşak" olması, young modülünün yüksek ve düşük değerli olmasıyla da açıklanır. AB bölgesinde viskoelastik deformasyon görülür. Malzemede az da olsa kalıcı deformasyon (sürünme) oluşmuştur. B noktası "akma verimi" dir. Nokta ile belirli gerilme ve uzama değerleri sırasıyla, polimerik malzemede önemli bir kalıcı deformasyon olmadan, taşıyabileceği yük miktarını ve uzayabileceği değeri (elastik sınırı) verir. Akma gerilmesinin yüksek ve düşük değerleri sırasıyla malzemenin "kuvvetli" ve "zayıf" olduğu ayrıca akma gerilmesine ulaşmadan kırılıp kopan malzeme için de "gevrek malzeme" (elastomerler ve fiber) ifadeleri kullanılır. BC bölgesi, uygulanan gerilmenin değişmeden malzeme önemli oranda uzar. Plastik akma olarak tanımlanan bölgedir. Birçok plastik malzemede bu durum gözlenir. Yapıda girift halde bulunan polimer zincirlerinin ayrılarak, birbiri üzerinden kaydığı, aktığı dolayısıyla şiddetli viskoz deformasyonun olduğu görülür. Plastik akma plastik malzemelerde gözlenen bir deformasyondur. CD bölgesinde gerilmede önemli bir artış gözlenir. Bu artış polimer zincirlerinin yapı içinde aşırı yüklenmesi sonucu sertliğin artmasını ifade eder. D noktasında kopma gözlenir. Bu noktaya karşılık okunan uzama ve gerilme değerleri sırasıyla, kopmada uzamayı (ne kadar büyükse malzeme o kadar dayanıklıdır) ve kopma gerilmesini (malzemenin kopmadan taşıyabileceği yükü) gösterir. OABCD eğrisi altında kalan alan malzemenin sağlamlığının (kırılmazlığının) bir ölçüsüdür. Bu değer ne kadar büyükse malzeme o kadar kırılmandır. Malzemenin kopması için gerekli birim hacimdeki enerji değişiminin çok yüksek olması da "dayanıklı" malzemeyi gösterir. Yarı kristalin

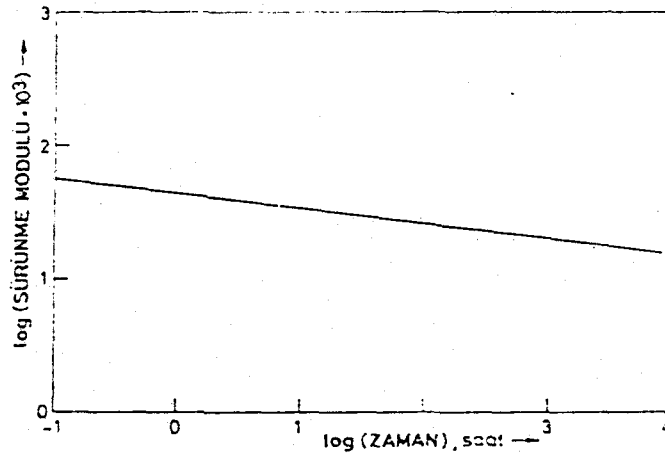


Şekil 3.7 Gerilme-uzama eğrisi

polimerlerde Tg'nin üzerinde ve amorf polimerlerde Tg'nin altında yapılan çekmelerde (şekilde kesikli çizgi) akma veriminde bir tepe noktasıyla, plastik akma başlamadan önce boyun oluşur. Genelde sıcaklık artışı akma ve çekme gerilmesini düşürür, %uzama artar.

### 3.6.1.2 Gevşeme ve Sürünme

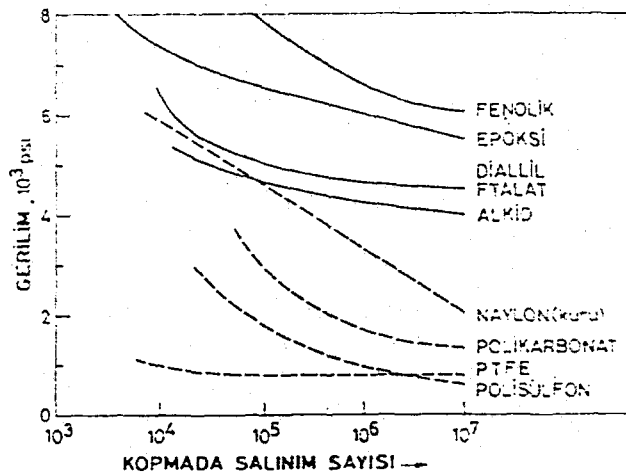
Polimerik malzemelerin mekanik özellikleri zamana bağımlı olarak değişir. Bunun incelenmesi için sabit uzamada tutulan polimerik malzemede, gerilimin zamanla azalmasının ölçümü olan gevşeme ve sürünme testleri uygulanır. Gerilme ve zaman eksenlerinde olabileceği gibi, sürünme modülü ve zamana bağlı grafiklerde açıklanabilir. Sürünme modülü malzemenin sertliğinin, zaman içinde değişimini veren bir parametre olup uygulanan gerilmenin herhangi bir anda uzamaya oranıdır ve zamanla değişir. Şekil 3.8'de sürünme modülü-zaman ilişkisi verilmiştir [35].



Şekil 3.8 Sürünme modülü

### 3.6.1.3 Yorulma

Polimerik malzemenin hangi koşullarda, ne kadar süre kullanılabileceğini göstermesi bakımından önemlidir. Metallerin yorulma mekanizmaları oldukça iyi aydınlatılmış olmalarına rağmen polimerlerde ise son derece karmaşıktır ve pratikte matematik analizlerden çok deney sonuçları kullanılır. Tüm malzemeler gibi polimerlerden üretilen malzemelerde yapı içinde hatalar içerirler. Bu malzemeler salınımlar halinde değişen gerilim veya gerinim altında kalınca, mikroskopik hatalardan başlayan deformasyon zamanla büyüyüp yayılır ve sonunda malzeme yorulur, kopar. Bu tür yorulma "çatlak yürümesi" olarak adlandırılır. Metallerde yorulma genellikle bu türdür. Polimerik malzemelerde çatlak yürümesi yanısıra "ısı yorulma" da önemli bir yorulma şeklidir. Polimerik malzemelerdeki bu fark viskoelastik olmalarından kaynaklanır. Bu tür malzemelerde uygulanan gerilim sonucu, viskoz bileşen nedeniyle, mekanik iş ısıya dönüşür. "Histeresiz" olarak bilinen bu olay metallerde düşüktür. Histeresiz sonucu ortaya çıkan ısı polimerlerin ısı iletim katsayıları düşük olduğu için çevreye yeterli hızda iletilemez ve malzemedeki sıcaklık artışı, ısı yumuşama ve dolayısıyla ısı yorulmaya neden olur [41]. Isıl yorulma malzemenin ısı iletim katsayısına uygulanan yükün değerine, salınım frekansına ve frekansın şekline (sinüzoidal, kare v.b.) deformasyonun oluşma biçimine (tek eksenli, bükülme vb.) ve malzemenin boyut geometrisine bağlı olarak, polimerden polimere değişir. Malzemelerde genellikle yüksek gerilim ve salınım frekansında çabuk yorulma gözlenir. Çevreye ısı iletimi ne kadar iyi yapılıyorsa malzemenin ömrü o kadar uzun olur. Polimerik malzemelerin yorulma özelliklerini belirtmek için yorulma grafikleri hazırlanır. Şekil 3.9'da termoplastik ve termosteler için elde edilen yorulma grafikleri verilmiştir [35].



Şekil 3.9 Yorulma eğrileri

Bu grafiklerin eldesi için uygulanan yorulma testlerinde, salınım frekansı ve türünün, incelenen malzeme boyut ve geometrisinin ve çevre koşullarının (sıcaklık, nem v.b.) sabit tutulup yalnızca uygulanan gerilim değiştirilmiştir. Grafikten görüldüğü gibi termosetler termoplastiklere göre çok daha dayanıklıdır. Gerilimin düşmesiyle, önce kopmada salınım sayısı artar malzemenin ömrü uzar, daha sonra ulaşılan limit gerilme değerinin altındaki gerilmelerde ise malzeme yorulmaz ve ömrü sonsuzdur şeklinde ifade edilebilir. Yorulmada ısıl yorulmanın etkisinde incelenmesi gerekir. Yorulma testleri oldukça karmaşıktır. Polimerik malzemelerin yorulma özelliklerinin karşılaştırılabilmesi için uygulanan tüm test koşullarının aynı olması ve malzemenin mümkün olduğunca pratikte çalışacağı yerdeki şartlara uygun olan deneylerin yapılması önemlidir.

#### 3.6.1.4 Sönüm

Plastik bir malzemenin sönüm kapasitesi, alternatif gerilmeler uygulandığında ısıya çevrilen mekanik enerji miktarıyla ölçülür. Mükemmel esnek malzemelerin sönüm kapasiteleri sıfırdır. Gerilim uygulandığında enerji absorblanarak potansiyel enerji halinde depolanır. Gerilim kaldırıldığında malzeme ilk durumuna döner. Çelik yaylar ve lastik bantlar mükemmel esnek malzemelerdir. Ancak en iyi çelik yaylarda bile gerilmiş durumda depolanan potansiyel enerji, gerilim kaldırıldığında, tamamen kinetik enerjiye dönüşmez. Bir kısmı ısı enerjisi şeklinde kaybolur. Viskoz sıvılar esnek olmayan malzemelerdir. Plastikler, viskoelastik özellik gösterdiklerinden gerilim altında esnek ve viskoz malzemelerin özelliklerini birlikte gösterirler. Bu sebeple mekanik enerjinin bir kısmı ısıya dönüşür. Plastiklerin sönüm özelliği gerilimin karakteri ve moleküler yapıya bağlı olarak değişir. Plastikler, mekanik enerji absorblama özelliğinden yararlanılarak titreşimlerin söndürülmesinde kullanılırlar. Plastikler mekanik enerjinin absorblanması sonucu açığa çıkan ısının dışarıya transferi şarttır. Aksi halde sıcaklık yükselerek plastiğin bozulmasına sebep olabilir. Bu sıcaklık sınırlılığı belirli bir sönüm fonksiyonu için plastik seçimini etkiler. Sönüm kapasitesi yüksek olan bir termoplastik düşük sönüm kapasiteli fakat yüksek ısıl dirençli bir termoset kadar iyi sonuç vermeyebilir. Gerilim esnasında lastiklerde ısı oluşumu araç lastiklerinde önemli bir faktördür [38].

#### 3.6.1.5 Çarpma Direnci

Polimerik malzemelerin ani darbe şeklinde gelen çarpmaya karşı dirençleri önemli bir mekanik özelliktir. Polimerik malzemelerde çarpma ile kırılma iki şekilde, kırılmalı kırılma ve kırılmayan kırılma şeklinde olur. Çarpma enerjisini yapı içinde dağıtamayan başka bir ifadeyle enerji absorblama kabiliyeti düşük olan polimerler (örneğin camı geçiş sıcaklığının altındaki amorf polimerler) kırılmalı kırılma gösterirler. Bu tür kırılmada



kırılmış yüzeyler düzgündür ve önemli bir deformasyon gözlenmez. Yüksek yoğunluklu polietilen ve polipropilen gibi camsı geçiş sıcaklığı oda sıcaklığının çok altında olan polimerler ise çarpma enerjisini yapı içinde kolayca dağıtırlar, dolayısıyla fazla miktarda enerji absorblayabilirler. Bu tür polimerlerde çarpma ile kırılma kırılğan değildir. Kırılmış yüzeylerde önemli oranda uzama gözlenir. Çarpma dayanıklılığı testleri polimerlerin ani darbe şeklinde yük etkisi ile kırılğan kırılmalarını ölçer, kırılğan olmayan kırılmada doğru ölçüm yapmak zordur. Bu açıdan çarpma testlerinde kırılğan kırılmayı sağlayacak önlemler alınmalıdır. Çentik derinliği ve çentik ucu yarıçapı, çarpma direncini etkileyen iki önemli parametredir. Yarıçap arttıkça çarpma direnci, birçok polimer için önemli oranda artar. Çentik derinliğinin azalmasıyla çarpma direnci genellikle doğrusal olarak artar. Polimerik malzemeler oda sıcaklığında test edilmesine rağmen değişik sıcaklıklarda da çarpma direncinin belirlenmesi gerekir. Polimerik malzemelerin çarpma dirençleri karşılaştırılırken veya incelenirken test koşullarının (özellikle çentik boyutları ve sıcaklığın v.b.), parametrelerin durumlarının bilinmesi gerekir.

### 3.6.2 Isıl Özellikler

Metallerin ısı iletkenlikleri 200–10.000 cal/cm.san. °C iken, polimerlerin ısı iletkenlikleri genelde 2–8 cal/cm.san.°C dir. Dolayısıyla bu düşük ısı iletkenlik polimerlerde "ısı ıyurulma" yaratır [41]. Bunu önlemek için malzemelere katkı maddeleri ilave edilir. Bu halde 10 kat veya daha fazla ısı iletkenlik arttırılabilir. Örneğin epoksilerde ısı iletkenlik 4–30 değerinden, dolgu maddeleriyle 800–2500 değerine çıkarılabilmektedir [35].

# BÖLÜM 4

## POLİMER BETON

### 4.1 GİRİŞ

Bölüm 2, tarihsel süreç içerisinde incelendiğinde, farklı alanlarda ortaya çıkan değişik birçok probleme, daha uygun çözümler bulabilmek için polimer beton malzemeler üzerindeki araştırmaların yoğun bir şekilde sürmüştüğünü ve halen de bu çalışmaların artarak devam ettiğini görüyoruz.

Uygulama alanları ise, gövde olarak (takım tezgahı, dişli kutusu, pompa ve hassas cihazlarda) [1,2,5,6,9,10,15,18,20,21,28], boru imalinde (kominikasyon kablolarının ve sıvıların iletiminde) [3,4], yapıştırıcı ve malzeme yüzeylerinde kaplama elemanı olarak (sulama kanalları, kanal, taşma ve hidroelektrik güç istasyon savaklarında, bina ön cephe, teras yüzeyleri ve endüstriyel kaplamalar) [3,16,21], kritik çalışma şartları veya ortamlarında (kimyasallara, nem'e, havaya, güneş ışınlarına, antikorrozif özellik ve düşük su absorpsiyonu) [14,16,17], istenilen boyut ve renklerde yapı endüstrisinde (kaldırım malzemesi, yaya yolu, ara bölme, prefabrik yapı panelleri) [3,12,16], makina parçaları olarak [5,9,13,26,30], takviyeli destek ve robot kolları [3,11,21], izolatör ve optik aletlerde [21,32], besicilikte [16,21], ışıklı işaret kulesi [17] şeklinde özetlenebilir.

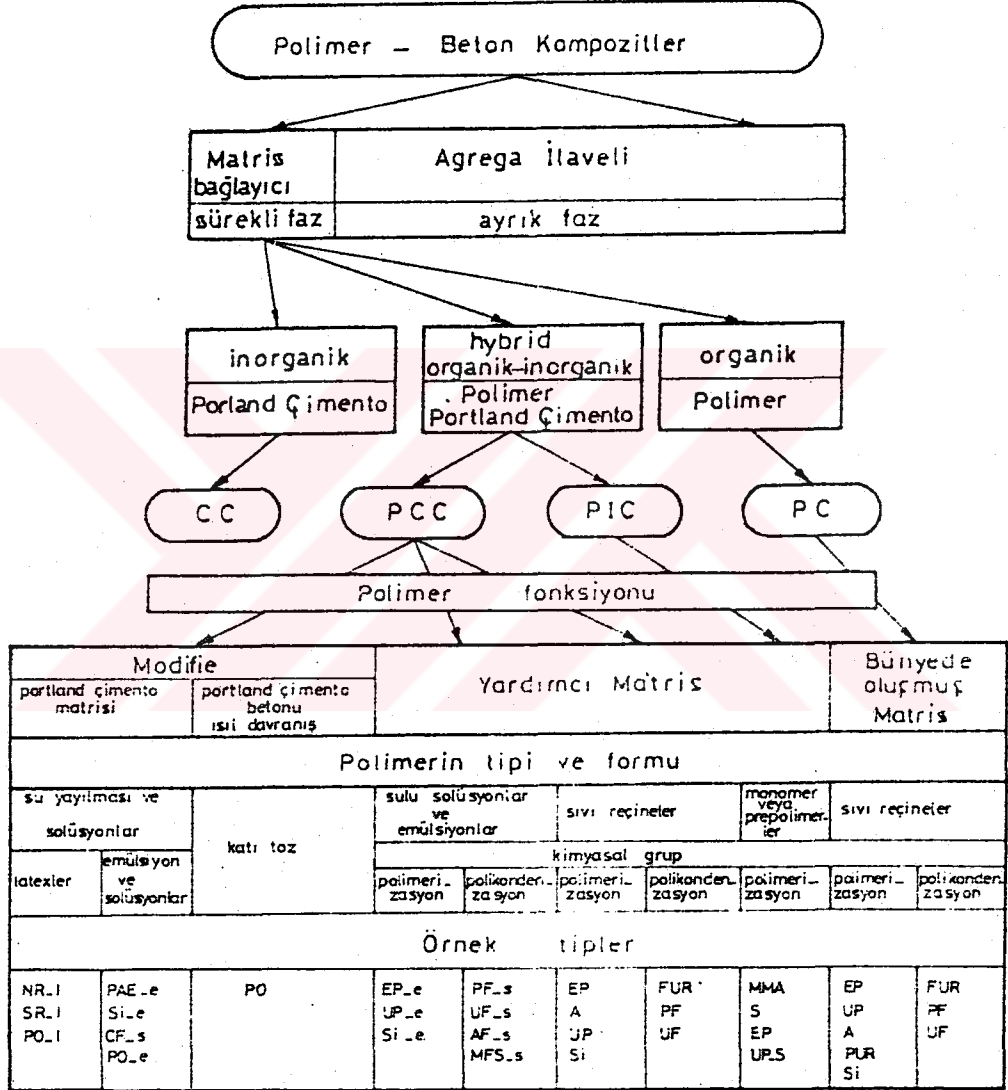
Uygulama alanlarının her biri, kendisine özgü bir takım şartların oluşumunu gerektirir. Bunlar ortam, etkiyen yükler, kullanımdaki istekler ve malzeme ile ilgili özellikler veya mekanik, fiziksel, kimyasal, optik v.b. sıralanabilir. Dolayısıyla belirli bir uygulamada kullanılacak bir malzeme diğer bir uygulama alanında farklı sonuçlar verebilir [13]. O halde, üretimi düşünülen eleman ile ilgili, ifade edilen tüm şartların ve pratikte karşılaşılabilecek değişikliklerinde dikkate alınarak, en uygun çözüm ile malzemenin hazırlanabilmesi önemlidir.

### 4.2 BETON-POLİMER KOMPOZİTLERİ

Yukarıda açıklanmış çalışmalar öncelikle gövde üzerinde yoğunlaşmış ve yapı endüstrisi ile diğer uygulamalar şeklinde devam etmiştir. Haliyle birçok uygulama alanı için, tek bir malzeme yapısı üzerinde durmak mümkün değildir. Bu sebeple, farklı uygulamalar için farklı işlemlere sahip malzemelerin üretilmesi çalışmalarını, tarihsel gelişime göre

incelendiğinde bunların, "beton" CC (çimento betonu) ve "polimer kompozitleri" PCC (polimer çimento betonu), PIC (polimer emdirilmiş beton) ve PC (polimer beton) şeklinde 2 grup olarak ifade edildiğini görebiliriz. Tablo 4.1'de beton-polimer kompozitlerinin malzeme bileşenleri ve yapıları gösterilmiştir [12].

Tablo 4.1 Beton-polimer kompozitlerinin malzeme bileşenleri ve yapısı



#### 4.2.1 Çimento Betonu

Beton, çimento (bağlayıcı madde), kum, çakıl veya kırmataşın su ve gerektiğinde beton katkı malzemelerinin karışmasından meydana gelen ve çimento şerbeti (çimento su karışımı) tarafından sertleştirilen suni bir taştır. Burada çimento, kum ve iri agrega tanelerini birbirine bağlar, kum ise iri agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurarak betonun kompasitesini artırır. Çakıl veya kırmataş taneleri iskelet görevi görür ve

malzemeye etkiyen kuvvetlere karşı koyarlar [48,49]. Çimento betonunun çelik takviyeli şekli, 1. Dünya savaşı yıllarına kadar makina yapıları için kullanılmıştır fakat dökme demir'e alternatif olamamıştır. Ayrıca talaş kaldırma sırasında kullanılan mineral veya sentetik kesme sıvılarının kullanılması da çimento betonu için problemdir. Çözüm olarak boya veya metal tabakalar ile kaplama önerilmişse de bunlar yeterince etkin olamamıştır. Yüksek su geçirgenliği, düşük çekme mukavemeti, büyük ağırlığı, düşük eğilme özellikleri gevrekliği, düşük darbe direnci, düşük elastisite modülü, yüksek su absorpsiyonu, düşük yalıtım özellikleri, kimyasal ataklara karşı düşük direnç, karışık şekilli yüzeylerin oluşumundaki zorluk, uzun katılma süresi, gibi istenilmeyen mühendislik karakteristiklerine sahiptir. Çimento betonunun termik stabilitesinin metalik malzemelerden oldukça yüksek olmasına rağmen, açıklanan olumsuz yönleri nedeniyle özelliklerinin iyileştirilmesi veya daha uygun özelliklerdeki malzemelerin geliştirilmesi çalışmaları önem kazanmıştır [1,2,13,14].

#### 4.2.2 Polimer Kompozitleri

Konvansyonel betonların mühendislik karakteristiklerinin iyileştirilebilmesinde, polimerlerin (plastiklerin) kullanılması 1950'li yıllarda görülmüştür. Daha sonra yapay polimerlerdeki gelişmelere paralel olarak birçok araştırmacının çalışmaları sonucu, önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. Polimer beton malzemelerin zamanla gelişme göstermesine rağmen konvansyonel betonlardan daha pahalı olması, önemli bir ekonomik engel oluşturmuştur. Buna rağmen fiat-gerilme oranı, kütle-gerilme oranı, kimyasal direnç ve zamana bağlı dayanım faktörleri incelendiğinde, fiattaki bu olumsuz etki giderilmiş olup, polimer betonun özel uygulamalarda kullanımında dahi bir engel olarak görülmeyeceği belirtilmiştir. Yukarıda 3 grup olarak verilen polimer kompozitlerinden PCC ve PIC çimento betonu-polimer, PC ise dolgu malzemesi-polimer uygulamaları şeklindedir ve tüm yapıların bağlayıcı-dolgu malzemesi karışımından ibaret olduğu görülür, bu nedenle polimer betonunda bir beton sınıfı malzeme olduğu ifade edilmiştir [14,31,36].

##### 4.2.2.1 Polimer Çimento Betonu

PCC veya PPCC ("Polimer Cement Concrete" veya "Polimer Portland Cement Concrete") olarak adlandırılan "Polimer Çimento Betonları"; genellikle sertleşmemiş taze çimento betonu harcına, polimer madde ilave edilmesi ve bu polimer maddeninde betonun prizi sırasında polimerleşmesiyle elde edilir. Diğer bir yöntem ise; çimento harcına monomer ilave edilmesidir. Bu durumda belirli bir sertleşmeden sonra monomerin polimerleştirilmesi ile iç yapının ilk uygulamaya göre daha düzgün olacağı belirtilmiştir. Bunlardan herhangi biri uygulanıp, sertleşmenin tamamlanmasıyla malzemede; nem ve

hidrokarbonlara karşı hassasiyette azalma, gerilme ve dayanımda bir artış ve geçirimsizlikte bir azalma gibi önemli gelişmeler sağlanabilmektedir. Proseste polimerin önce emülsiyon (suda erimiş süspansiyon yapı haline getirilmesi), sonra bu yapıdaki organik polimerin çimentonun kireci ile reaksiyona girip koagüle olmaması ve nihayet polimerizasyonun sulu ve alkali ortamda oluşması gerekiyor. Birçok polimer ve onların monomerleri çimento, su ve agrega karışımları ile uyuşmayabilir. Bu şartlar önceleri PVA (polivinil asetat) (stabilizan+katkı maddeleri) ile mümkün olabilirken geçirimsizliği ve sünekliği sağlayabilmek için PVA %'si çimentonun %20'si kadar alınsa da bu kez mukavemet ve elastisite modüllerinde önemli düşüşler meydana gelir. PCC'nin zamanla suya direnci de azalır. Bu sebeple PVA dışındaki polimerler ise; PVP (polivinil propinat) SBR (stiren butadien latex), NBR (akrilonitril butadien latex), PVC (vinil klorür+viniliden klorür) emülsiyonları, PAE (poliakrilik ester) emülsiyonları, epoksi emülsiyonları vb. şeklinde belirtilmiştir. PCC'ler (stiren butadien, akrilik ve epoksi emülsiyon uygulamalarıyla), ticari olarak, "Latex'le Geliştirilmiş Beton" (LMC,"Latex modified Concrete") ismiyle de bilinir. PCC'lerin yerinde dökülebilmeleri, bir avantajdır. Yüksek sıcaklık ve zararlı tuzlara dayanıklı yarı organik halde PCC'ler de üretilmiştir. Uygulama alanları, beton köprüler, otoparklar endüstriyel zeminler, yama veya kaplama şeklindedir. Küçük yük etkisindeki uygulamalarda çelik takviye olmaksızın kullanılabilmesi de belirtilmiştir [13,14,36]

#### 4.2.2.2 Polimer Emdirilmiş Beton

PIC (Polimer Impregnated Concrete) polimer emdirilmiş beton; sertleştirilmiş çimento betonuna monomer emdirilmesi ve bunu takip eden polimerizasyon işlemi ile üretilir. İşlemden önce numune nemden arındırılır. Emme oranının yüksek olabilmesi için, vakum'da emme gerçekleştirilir. Polimerin yeterli oranda emdirilmesi ve emme süresini de uzatmamak için yeterli bir basınç altında enjeksiyonu zorunludur. Beton boşluk granülometrisinin enjeksiyona olanak verecek nitelikte olması, aranan bir özelliktir. Polimer emdirilmesinde "polimer", betonun en ince kılcal boşluklarına kadar nüfuz etmelidir. Emme sonrası polimer kaybının önlenmesi için numunelere örtme uygulanır ki en güvenli yol su içerisinde tutulmasıdır. Polimerizasyon su altında oluşur ve polimerizasyonun aktivasyonu sıcaklık ve radyasyonla sağlanır. Daha sonra polimerizasyonu tamamlanmış parçalar kurutur. İşlemden sonra polimerlerin düşük viskozitede olmaları gerekir. Bunlar termoplastik gruptan; metilmetakrilat, stiren akrilonitril, tribütill stiren, termoset gruptan ise; stiren+trimetilolpropan trimetil akrilat merlerinin kullanımına olanak verir. Konvansiyonel beton ağırlığının %(6-7) şeklinde polimer uygulanır. Metilmetakrilat monomer ucuzdur ve PIC'nin iyi özelliklere sahip olmasını sağlar ve katalizör olarak Azonitril önerilir. Sonuçta elde edilen PIC'ler

geçirimsiz, çok yüksek dayanımlı betonlar olup PCC'lere oranla daha üstün malzemelerdir. PIC'de monomer emdirildiğinden diğer betonlara göre daha az malzeme kullanılmış olur. Uygulama alanları prefabrikasyon, perlit ve lifli beton yapılar, beton köprüler, tuz ve don hasarlı yapılar, deniz yapıları veya deniz altı uygulamaları, nükleer atık depolama binası, borular, mimaride, tünel kaplama, sıhhi tesisat uygulamaları ve restorasyon işleri şeklinde verilmiştir [14,36].

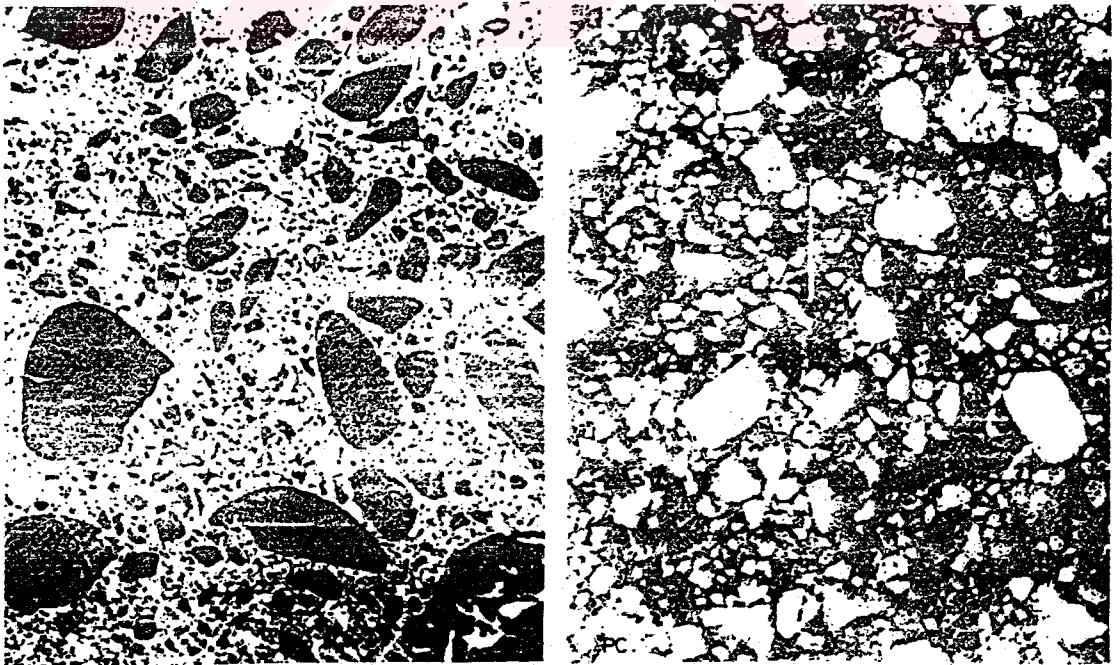
#### 4.2.2.3 Polimer Beton

PC (Polymer Concrete) polimer beton; agrega (dolgu malzemesi) ile monomer veya reçinenin karıştırılıp, daha sonra katalizör ve bir hızlandırıcı ilavesini takiben oda sıcaklığında polimerizasyon işleminin gerçekleşmesi sonucu, sertleştirilmesi ile elde edilir. PC'ye sentetik reçine betonu adıda verilmektedir. Bu malzeme mühendislik yapı malzemesi olarak kullanılabilir. Polimerizasyon'da köprüleşme ve hacimsel molekül oluşur. Bu işlemde yan ürün oluşmaması ilginç bir yöndür. Ayrıca hava kabarcığı oluşmaması da büyük bir avantajdır. Polimerizasyonun başlangıcında köprüleşme tam olmadığından ürün termoplastik karakter gösterir, ancak giderek sertleşir ve termoset'e dönüşür. Polimerizasyon egzotermiktir ve üretim hacmi artışıyla sıcaklık da artar. Pota ömrü önemli pratik bir sorundur. Prepolimer ve sertleştirici katıldıktan sonra kullanılmaya imkan veren süreye pota ömrü denilir. Pota ömrü sulandırıcı türdeki katkılarla değiştirilebilir. PC'lar ve yukarıda anlatılan PCC ve PIC'ların her birinin yapısı karışımdaki malzemelerin her birinin özellikleri, katılma biçimleri ve ortam şartları ile farklılıklar göstermektedir. Dolayısıyla karışımlara, nasıl bir yöntem ile ne kadar ve hangi şartlarda tasarlanmış olan yapı için, gerekli bileşenlerin ilave edilmesi önemli olmaktadır. Şekil 4.1'de PC, PCC, PIC ve CC'lerinin yapıları verilmiştir [12]. Polimer beton özellikleri kontrol edilerek üretilebilen bir malzemedir. Bu önemli bir avantajdır ve PC'nun geniş bir kullanım alanına yayılmasına neden olmuştur. Bu nedenle her tür uygulama için belirlenmiş boyutlarla üretim olanağı vardır. PC üzerinde üretim sonrası işlem yapmak zor olduğundan tüm ayrıntıların önceden iyi irdelenmesi gerekir. Polimer betonun düşünülen uygulama alanı için davranışının önceden belirlenebilmesi, farklı etkili karışımların hazırlanıp bunların, kullanılacağı yerdeki zorlanmalara uygun, testlerinin yapılmasıyla sağlanabilir. Endüstrideki gelişmeler, malzemeler için ilave işlemlere ihtiyaç duyulmadan kısa bir sürede üretim işlemlerinin tamamlanabilmesine de bağlıdır. Modern bir yapı malzemesi, yüksek mukavemet değerleri, kimyasal dayanım, kullanıma hazır olma ve kalite gibi gereksinimleri de, yukarıda belirlenmiş olan şartlarla birlikte sağlayabilmelidir. Polimer betonun reçine ile karıştırılarak işletmeye hazır hale gelmesi (sertleşmenin-kemikleşmenin tamamlanması) 1-3 günden daha fazla zaman almamaktadır. Tipik bir aşındırıcı ortamda polimer betonun kimyasal direncinin üstünlüğü

çok iyi veya mükemmel olarak nitelendirilebilir. Ayrıca mukavemetleride oldukça iyidir. PC'nun CC'na göre daha iyi mukavemet değerleri vermesini. reçinelerin iyi bağlama etkisiyle birlikte tane büyüklüğü dağılımının uygun ve yapı içerisinde sıkı bir düzende yerleşimine bağlayabiliriz. Şekil 4.2'de CC ve PC'da yapı 1:1 ölçekli olarak verilmiştir [13].

	I	II	III	IV
	CC	PCC	PIC	PC
Polimer yükü, % Ağ.	0	<30	3-8	6-20
Polimer/Bağlayıcı oranı, % Ağırlık	0	0,15-50	5-15	100
Gözenek, % Hacim	1-16	10-20	3-5	≤ 5
Polimer fazı	içermiyor	çyrık	yarı-sürekli	sürekli

Şekil 4.1 Sertleştirilmiş betonlarda yapı



Şekil 4.2 Çimento betonu ve polimer betonda yapı

Polimer beton, metaller ile karşılaştırıldığında bazı dezavantajlara sahiptir. Genellikle çekme ve darbe mukavemeti ile ısı direnci daha düşüktür, özellikle sıcak ortamlarda sürekli yük altında sürünme olayı daha fazladır. Çok az bir büzülme, şekil değişimlerine yeterli direnç ve düşük su absorpsiyonu olduğu da belirtilmiştir. Paslanmaz çelikten çok daha korrozyona dayanıklı ve dökme demirden de 6 kat daha iyi titreşim ve darbe sönümlenme özelliği olduğu belirtilmiştir [21]. Araştırmaların incelenmesiyle PC'larla ilgili bilimsel bulgulara dayalı bir hayli pratik bilginin elde edildiğini görüyoruz. Tam anlamıyla cazip bir malzeme olarak ifade edilememesine rağmen, farklı birçok alanda oldukça geniş uygulama alanı bulabilmesi ve birçok mühendislik dalında mevcut ve doğabilecek ihtiyaçlar karşısında birçok gereksinimi karşılayabilecek özellikte olduğunda ifade edilmiştir. PC makina parçaları üretimi döküm ve çelik kaynak konstrüksiyonlarıyla üretimden daha kolaydır. Çimento betonuna nazaran daha hafif konstrüksiyonlar ile PC elemanlar hazırlanabilir. Uygulama alanları kimyasallara, deniz suyu tesirindeki yerler korrosiv etkiler, su ve lağım atıkları, hızlı tamirat, köprü onarımları, jeotermal güç istasyonlarında, mezbahalarda, gıda hazırlama tesislerinde, servis istasyonlarında ve yağlar etkisindeki yerler şeklinde belirtilebilir [13,14,36].

Bölüm 4.2.2'de "polimer beton" ikili malzeme sistemidir ve "bağlayıcı-dolgu malzemesi" şeklinde tanımlanmıştır. Dolayısıyla, bağlayıcı ve dolgu malzemeleri ile bunların yapısal özellikleride önemlidir. Çünkü polimer betonların avantajları kullanılan dolgu malzemesi ve bağlayıcı ile farklılık göstermektedir. Buraya kadar polimer betonlar ile ilgili, karışımı oluşturan her bir bileşenin kendisine has özelliklerinin dışında, birleşim sonucu oluşmuş yapı dikkate alınarak açıklamalarda bulunulmuştur. Karışım bileşenleri reçineler ve dolgu malzemeleri ile ilgili açıklamalar aşağıda izleyen farklı bölümlerde ele alınmıştır. Burada kullanılan polimer beton tanımlaması genel bir ifadedir ve bunun yerine her bir reçinenin ismi ile de malzeme ifade edilebilir. Genelde yapı ve oluşum polimer beton için verildiği gibi olmasına rağmen, değişik reçineler ile üretilmiş polimer beton malzemelerin birbirlerine göre farklılığı, kullanılan reçinenin kendi özelliklerini kısmen yeni malzemeye yansıtması şeklinde olacaktır [13].

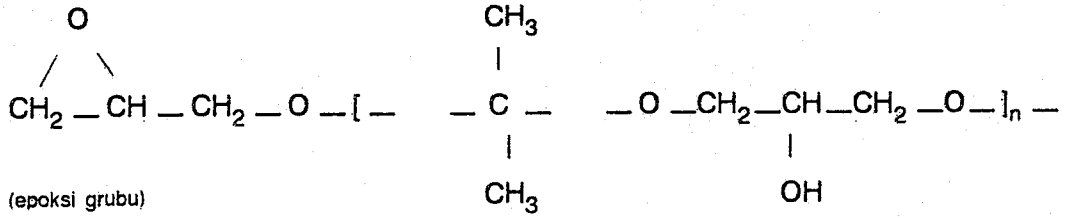
### 4.3 REÇİNELER

Polimer beton malzemelerde değişik birçok reçinenin kullanılmış olmasına rağmen yapılmış araştırmalar incelendiğinde genelde "epoksi", "doymamış poliester" ve "polimetilmetakrilat" reçineler üzerinde yoğunlaşmış olduğu görülmektedir. Burada bu 3 reçine ve bunların beton uygulamalarıyla ilgili belirli özellikleri verilecektir.



### 4.3.1 Epoksi Reçine

Epoksi reçine kısaca, oda sıcaklığında sıvı halinde bulunan ve bir sertleştirici ile katı halini alan bir termoset olarak tariflenebilir. Epoksiler, epoksi grupların kendi aralarında homopolimerizasyonu veya anhidrid, amin novalak gibi maddelerle reaksiyona girmesiyle elde edilirler. Epoksi reçineleri, glisidil eter reçineleri ve epoksitlenmiş olefinler şeklinde iki büyük sınıfa ayrılır. Glisidil eter reçineleri; epiklorhidrin ile bisfenol-A'nın sulu kostik soda ile reaksiyonu sonucu elde edilir [36,37,41,44,45]. Reaksiyon daima epiklorhidrin fazla olacak şekilde yapılır. Böylece reaksiyon sonucu ortaya çıkan, molekül içindeki yüksek reaktif etoksilin grupları ile karakterize edilen epoksi reçineleri, lineer polimerizasyon noktalarında uç olarak görev yaparlar. Çok aktif olan bu gruplar, birleşimi sağlayan organik bileşiklerle yan ürün vermeden veya molekül içindeki hidroksil veya diğer reaktif gruplar ile reaksiyona girerek çapraz bağlanma oluşumuyla kemikleşerek sert, tok ve erimez termosetting sistemler oluşturur. Burada zincirler arası çapraz bağ oluşumu ve kemikleşme, sertleştirici aminler, asitler ve asit anhidrit bileşiklerinin (sıcakta veya bu kadar iyi olmamakla birlikte soğuk olarak) katalitik etkisiyle sağlanıp, kullanılan katalizöre, sertleşme sıcaklığı ve zamana bağlı olarak ürünlerin özellikleride farklı olmaktadır [37,38,40,44]. Epiklorhidrin/bisfenol-A oranıyla molekül ağırlığı kontrol edilir. Bu iki bileşen oranının (iki ucunda birer epoksi grubu bulunan kısa polimer molekül zincir uzunluğunun) değiştirilmesiyle, (yüksek oran ile) alçak viskoziteli sıvılardan (düşük oran ile) yüksek molekül ağırlıklı yüksek sıcaklıklarda eriyen katılara kadar farklı özelliklerdeki ürünler elde edilir [37,38,41,44]. Epoksitlenmiş olefinler ise (oksijen ve selektif metal katalizörler, perbenzoik asit, asetaldehit monoperasetat veya perasetik asit) bir çok yoldan elde edilebilir [37]. Epoksi reçineleri iki bileşenli olarak satılır. Bunlardan biri prepolimer halde olan düşük sayıda molekül içeren sıvıdır ve piyasada satılan ticari maddeler bu sıvı prepolimerden oluşurlar. İkincisi ise sertleştirici olarak adlandırılan çok fonksiyonlu bir üründür. Sertleştiricileri, yüksek sıcaklık gerektiren ve bu bakımdan pratik olmayan bir "poliasit anhidriti", etilen diamini gibi normal sıcaklıkta aktif olan bir "alifatik poliamin" ve normal sıcaklık veya biraz daha yüksekçe bir sıcaklıkta (80–100°C) aktif olan "poliamit" şeklinde sınıflandırabiliriz. Bunlardan "alifatik poliamin" sertleştiricilerden en çok kullanılan tür olmaktadır. Sertleştirici miktarının %(50–60) değeri, mukavemeti tamamen düşürmekte %(25–30) seviyesi yüksek bir dayanım ve düşük yüzdelerde mukavemetin düşmesiyle birlikte sertleşmiş reçinenin kırılmadan büyük deformasyon yapabileceği ifade edilmiştir [36]. İşlemden diğer tüm verilerinde mukavemeti etkilediği bilinmektedir, ayrıca belirli bir reçine için en uygun sertleştirici ve bunların karışım oranları, polimerizasyonun tam olarak sağlanabilmesi için firma kataloglarında verilmektedir.



Şekil 4.3 Epoksi reçine

Klorlanmış veya bromlanmış bisfenol-A, epiklorhidrin ile muamele edilerek alev dayanıklı reçineler elde edilir. Epoksi reçinelerinin daha iyi bükülebilirlik ve tokluk kazanması için poliglitol'ler veya doymamış dimerize yağ asitleri ile bisfenol-A eklenir. Bunlar bilinen glisidil eter reçinelerinden daha az viskoziteye sahip olduklarından sonuçta elde edilen reçinenin modifikasyonu için kullanılırlar. Novalak reçinelerinin ise termik özellikleri ve mukavemetleri çok iyidir. Sikloalifatikler ise havada dayanıklılığı ile bilinen epoksilerdir. Aromatik aminlerin epoksidasyonu ile elde edilen grup ise, çok iyi mekanik (yorulma dahil) ve termik özelliklere sahiptir [37,41].

Epoksi reçineleri kalıplama ve dökme olarakda ayırabiliriz. Kalıplama reçineleri cam elyafı veya mineral dolgu ile aramid lifleri, pamuk ve metal yaprakları ile kuvvetlendirilebilir. Bu sayede ürünler kısa bir süre 260 °C'a kadar dayanabilir. Kalıplama ile elde edilen epoksi parçaları sert, rijit, nispeten kırılmandır, ayrıca çeşitli sıcaklıklarda çok iyi boyut kararlılığına sahiptirler. Döküm yapma reçinesi ise, özellikle elektroteknikte (çok iyi elektrik direnci nedeniyle) kullanılır. Örneğin kondansatör, bobinle ve izolatör olarak. Ayırıcı maddelere (silikon, teflon) göre daha büyük yapıştırma mukavemetine sahip oldukları dikkate alınmalıdır. Bu nedenle epoksi yapıştırma reçineside mevcuttur. Metalik ve metalik olmayan yüzeylere, cam, porselen, taş, lastik ve özellikle kuartz malzemelerle mükemmel yapışma yeteneğine sahiptir [13]. Birbirinden farklı malzemeleri yapıştıran epoksi adezifleri tek veya iki bileşenli sistem olarak imal edilirler. Tek bileşenli sistem ancak ısı yoluyla katılaştırılır, iki bileşenli sistem ise oda sıcaklığında katılaşmasına rağmen ısı ile çok daha iyi bir sonuç elde edilir. Bu şekilde yapıştırılmış malzemeler 230 °C'a kadar dayanabilirler, ancak bu sıcaklıkta özellikleri oda sıcaklığındaki özelliklerinden çok daha düşüktür. Yapıştırma reçineleri uçaklarda, bisiklet ve motorsiklet çatısının yapıştırılmasında, kollektörlerin yapıştırılmasında kullanılır. Ayrıca ara tabaka malzemesi olarak, alkaliye dayanıklı cam olarakda işlenebilir. Epoksi lakı reçinesi ise serttir ve buna rağmen % 20-30 deforme olabilir. Laklanmış levhalar derin çekilebilir. Lak, kokusuz tatsız olup yiyecek maddeleri konserve kutularının korozyonuna karşı dayanıklıdır. Diğer uygulamalar ise, açık havada çalışan parçalar, yapılarda ve endüstride koruma için soğuk sertleşebilen astar veya kaplamalar, fırın boyalar enjeksiyon reçine, takım tezgah

konstrüksiyonu için v.b. polimer harç ve beton yapılar, darbeye, nem'e ve korrozyona dayanımı ve üstün boyut değişmezliği (iç gerilme ve çatlak oluşmaması) istenen yapılar şeklinde sıralanabilirler. Sonuç olarak, iyi mekanik, elektrik ve kimyasal özellikler ile aşınma mukavemeti yanında belirli sıcaklıklara kadar ısı kararlı tiplerin de geliştirilmiş olduğu belirtilmiştir [13,41,45,50,51,52].

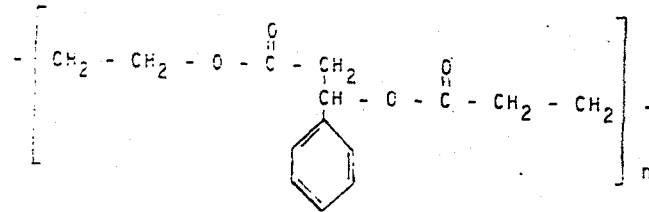
Epoksi reçinelerin suyla teması, karıştırıldığı maddelerden geldiği gibi, üretimin hemen öncesindeki absorblanmış su v.b. sebeplerden kaynaklanmaktadır. Araya diffüze olan ve nispeten küçük boyutlu olan su molekülleri polimerizasyon aşamasında köprüleşme süresini etkilemekte ve düşük mukavemetli epoksi ürünleri elde edilmektedir. Bu arada kullanılan dolgu maddelerinin de suya karşı duyarlı olması durumunda geçirimsizliği düşük epoksiler elde edilmektedir. Sertleşmiş epoksi üzerine suyun etkisi ise hemen hemen yoktur. Sulu alkali ortam ise epoksileri yumuşatmakta rijitliklerini bozmakta, bir oranda geçirimli yapmaktadır. Epoksi termosetlerinin çözücü ve alkalilere karşı mukavemeti poliestere göre daha iyi, fakat asitlere karşı daha düşüktür. Epoksi reçineli polimer beton 3 yıl, %65 B.N. ve 20°C'da bekletildiğinde elastisite modülleri değişmemiş, üretimi izleyen 1. hafta sonunda kararlılık oluşmuştur. Sünme 2.5 yıl sonunda 20 N/mm<sup>2</sup> basınç altında 1000x10<sup>-6</sup> değerinde kararlı kalmıştır. Isının önemli olduğu uygulamalardaki epoksi beton kısmı izolasyon malzemesiyle korunmalıdır. Epoksi reçine betonunda üretim hacminin artmasıyla sıcaklığında arttığı gözlenmiştir, 250 cm<sup>3</sup> için sıcaklık 100°C'yi bulduğu halde 10 cm<sup>3</sup> için sıcaklık 20°C'ı geçmemiştir. Epoksi reçinenin en önemli kusuru, normal betonun 5-10 katı olan fiatıdır [36].

<u>Reçine</u>	<u>Uygulanabilirlik</u>	<u>Özellikler</u>
Yapıştırıcılar	1-2	200, 1-2
Fenol reçineleri	1-2	200, 1-2
Kresol reçineleri	1-2	200, 1-2
Artiraktiler	1-2	200, 1-2
Uygulanabilirlik	1-2	200, 1-2
Belirli reçineleri	1-2	200, 1-2
Poliestere reçineleri	1-2	200, 1-2
Epoksi reçineleri	1-2	200, 1-2

Tablo 4.2 Reçinelerin karakteristik özellikleri

### 4.3.2 Poliester reçine

Poliester, bir alkol ile bir asidin kondenzasyon polimeridir. Bu alanda en çok kullanılan asitler; "maleik asit", "fümarik asit"; alkoller ise "etilen glikol" ve "propilen glikol" dür. Bir alkolün OH-grupları ve bir asidin bir H-atomu birbiri ile reaksiyon yapar ve su ayrışırsa asidin serbest valansları yardımıyla birleşen alkol artığı, ester oluşturur. Bu durum karşılığı, poliesterlerdeki doymamışlık kaynağı asitlerdir. Asit ve alkol doymuş ve iki işlevsel gruplu iseler, doğrusal bir poliester elde edilir. Doymuş bu poliesterde C çift bağıntısı yoktur ve bir termoplastik, kondenzasyon ürünüdür. İkiside çift işlevsel gruplu fakat biri doymamışsa veya ikiside doymuş fakat biri üç işlevsel gruba sahipse kondenzasyon sırasında oluşan makromoleküller çok sayıda çift bağıntılı olurlar. Bu çift bağlar doymamış bir monomer yardımıyla polimer zincirleri arasındaki çapraz bağların kurulması ve üç boyutlu, kuvvetli bir ağı oluşturulmasıyla (sertleşme sonucu) termoset bir polimer oluşur [37,38,44,45]. Bu durumda sertleştirici olarak kullanılan monomer ağı bir parçası olur. Sertleşmenin derecesi ve hızı bir hızlandırıcı ("kobalt oktoat", loriil merkaptan" v.b.) yardımıyla kontrol edilir. Katalizörde ("benzol peroksit", "metil etil keton" v.b.) kullanılabilir, fakat bu durumda ısıtmak gerekir [36,38,42]. Alçak molekül ağırlıklı alkid reçineleri olarakta bilinirler. Sertleşme sırasında parçalanma olmaması nedeniyle bir yan ürün oluşmamaktadır. Olay, basınca gerek olmadan oluşur ve ortam sıcaklığında yapılabilir. Birkaç dakikadan birkaç saate kadar sürebilir. Polimer beton uygulamalarında burada ifade edilen "doymamış poliester reçine" kullanılmaktadır [41,45].



Şekil 4.4 Poliester reçine

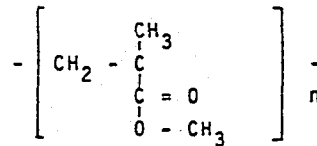
Mekanik ve kimyasal dayanımları, 100°C'in altında iyidir. Darbe mukavemeti diğer polimerlere göre düşüktür. Sertleşme sırasında kendini çekme oranı %(5-12) yüksektir. Bu hal malzemenin dayanımını düşürüp düzgün yüzey elde etmeyi zorlaştırır. Sertleşme öncesi viskozite yüksek olduğundan dolgu maddelerini iyi ıslatır. Fakat yapışma yetenekleri epoksilere oranla çok düşüktür. Dolgu maddeleri ile (cam fiber uygulamaları yoğun) takviye yapıp, oranların değişimiyle mekanik özellikleri (olumlu yönde)

değiştirilerek kullanılabilir. Elde edilen malzemenin özellikleri gevrek, sert, tok veya yumuşak ve bükülebilir tarzda olabilir. Alkali ve bazik ortamlarda korozyon dayanımı düşüktür. Bünyesine su alarak bozunur. Ultraviyole etkisiyle eskimeleri ileri düzeydedir. Elastisite modülleri düşüktür. Kolay işlenebilirliği ve düşük fiatı nedeniyle tercih edilirler.

Uygulama alanları; kaporta, tampon, far yuvaları, sandal, kuleler, yakıt tankları, su depoları, her çeşit havalandırma ve gaz kanalı, motor koruma sandıkları, prefabrik yapılar, ev eşyaları, mobilya, lavabo, küvet, yapılardaki uygulamalar, mimari paneller transport elemanları, atletizm ekipmanları olarak sıralanabilir [36,37,38,41].

#### 4.3.3 Polimetilmetakrilat reçine

Polimetilmetakrilat, PMMA ile gösterilir ve katılma polimerleşmesi ile üretilir. Akrilik asidine dayanan akrilik ailesi plastiklerinden birisidir. Lineer amorf, termoplastiktir. Perspex'in mer'i "metilmetakrilat" tır. Polimerizasyon 373°K civarında rahatlıkla gerçekleşir. Reaksiyonun başlaması için serbest radikal bir başlatıcı gerekir. Polimer reaksiyon sonucu eriyen bir tabaka olarak ortaya çıkar. Reaksiyon sırasında C atomları arasındaki çift bağ açılarak perspex elde edilir. Metil (CH<sub>3</sub>) ve ester (COOCH<sub>3</sub>) grupları rastgele olarak molekülün iki yanında yer alırlar. Dolayısıyla malzeme ataktik ve amorfudur. Toluen, etilasetat ve trikloretilen gibi çözücüler dışındakilere dayanımlıdır. Tokluğu iyidir. Perspex'lerin (Akrilik'lerin) nem almaları %0.4 veya daha azdır. Yüksek molekül ağırlıklı (düşük akma hızı fakat yüksek ısı mukavemet) ve düşük molekül ağırlıklı (kolay akabilen karışık parça yapımında kullanılan, ısı mukavemeti düşük) tip olarak iki şekilde üretilebilir [37,38,41].



Şekil 4.5 Polimetilmetakrilat reçine

Uzun süre yumuşama noktaları altındaki sıcaklıkta kalırsa bazı parçaların şekli biraz değişebilir. Yanıcıdır ve 90°C üzerindeki sıcaklıklarda kullanılamaz [40]. Talaşlı ve talaşsız işlenebilir, kaynak edilebilir, yapıştırılabilir, renk solması olmaz ve yaşlanmazlar. Alkali'ler sulu asitler, yağlara dirençli, dayanıklı malzemelerdir. Optik saydamlığı tüm plastiklerden üstün olduğundan optik camlar yerine kullanılır. Camdan daha hafif ve esnektir. Uygulama alanları, saat camı, oto camı, koruyucu cam, oto arka labbarları reflektör, tabak-kaşık, fırça, boya ve vernik şeklinde, fotoğraf malzemeleri, açık hava ilanları, uçak sanayii, sıhhi malzeme imalatı, kumanda panoları, musluk kolları, resim çizme aletleri, diş dolgusu, şeffaf modeller şeklinde sıralanabilir [38,41,45].

#### 4.3.4 Reçineli Betonlar

Polimer betondaki homojenlik, çatlak ve iç gerilmelerin oluşumunun, kullanılan reçine tipi ve onun katılma sıcaklığına bağlı olduğu ifade edilmiştir [13]. Reçineli polimer beton uygulamaları incelemesi, "epoksi", "poliester" ve "polimetilmetakrilat" reçinelerin yukarıda verilmiş özellikleride dikkate alınarak, burada sırasıyla verilmiştir.

Epoksi reçineli polimer beton: Farklı formülasyonların kullanılmasıyla, değişik özelliklere sahip yapıların elde edilebilmesi avantajdır. Düşük katılma sıcaklığı ve viskozite nedeniyle, iç gerilmeler ve çatlak oluşmaksızın, takım tezgahı elemanları yapımında son derece kullanışlıdır. Her çeşit malzemeye yapışma özelliği son derece iyidir. Özellikle kuvarz ve kuvarz türleriyle çok iyi sonuçlar verir. Ne yazık ki diğer iki reçine tipine göre oldukça pahalıdır.

Poliester reçineli polimer beton: Oda sıcaklığında katılan en ucuz reçine olmasına rağmen, kokusu, büzülmesi ve oldukça yüksek egzotermik reaksiyonu gibi dezavantajları vardır. Bu davranışı nedeniyle önceden hassas bir şekillendirme vermek mümkün değildir ve imalat sırasında iç gerilmeler oluşur. Yüksek çekme mukavemetine sahip granit ve diğer taş cinsleri ile bileşiminde düşük yapışkanlık özelliği, takım tezgahı yapım malzemesi olarak kullanım alanını sınırlandırmıştır.

Polimetilmetakrilat reçineli polimer beton: Poliester'den pahalı fakat epoksi'den daha ucuzdur. Ayrıca katılma süresince aşırı ısı oluşur. İşlem sırasındaki bu sıcaklık değişimleri, daha sonra elemanlarda deformasyon oluşturan iç gerilmelere neden olur. En kötü hal ise, yapım sırasında karışımın yüksek oranda olması halinde çatlakların meydana gelmesidir. Yapışma özelliğinin iyi olması, yüksek çekme mukavemeti meydana getirir. Yüksek oranda SiO<sub>2</sub> ihtiva eden taş ile kullanıldığında iyi özellikler gösterir. PMMA büyük boyutlarda, uzun işletme ömürlü ve takım tezgah prototiplerin yapımında kullanılır.

Sonuç olarak, "epoksi reçineli polimer beton" uygulaması, fiyat dezavantajına rağmen en uygun yapısal özelliği veren malzeme olarak ifade edilebilir. Tüm taş esaslı malzemeler ve reçinelerin bileşimiyle yapı elemanları oluşturulabilmektedir. Her reçine yük etkisinde sürünme gösterdiğinden, tane dağılımı ve dolgu malzemesinin seçiminde önem taşımaktadır. Prensip olarak yapıya etkileyen yüklerin (mümkün olduğunca az bağlayıcı kullanımıyla) bağlayıcının değil taşların taşınmasının sağlanmasıdır. Burada önemli konu elde edilen ürünün özellikleri üzerinde, önemli değişimlerin olmasına neden olacak bileşimde yer alan her bir malzemenin özellikleri, ortam şartları, çalışma şartları, üretim yöntemi ve isteklerin iyi değerlendirilip, uygun seçimlerin yapılabilmesidir [13].

#### 4.4 DOLGU MALZEMELERİ

Polimer beton dolgu malzemeleri de, normal betonda kullanılan dolgu malzemeleri kadar önemlidir. Dolgu maddeleri kullanılmasının temel nedeni, maliyetin düşürülmesi olmasına rağmen bunlar sayesinde sertlik, mukavemet, sıcaklık, ışığa dayanım, viskozite, kimyasal direnç, elektriksel direnç veya iletkenlik özellikleri iyileştirilebilir. Bölüm 3'de verilmiş olan tabii ve sentetik dolguların her ikisinde kullanılabilir. Tabii olan mineral tipi agregalar; nehir kumu bazaltlar, kum tozları, mermerler, mermer tozları, kuvarz, perlit, dolomit, kristalize kalsit, tebeşir ve sentetik agregalar; cam boncukları, cam fiberler, çelik ve karbon (ince çubuklar halinde) fiberlerdir [35,36,40]

Bir çok uygulamada mineral agreganın belirlenmesinde, kullanılabilirlik ve fiyat dikkate alınır. Dolgu malzemelerinin oranı maksimum ağırlığın %90'ına kadar alınır [21]. Düşük orandaki kompozitlerde daha düzgün bir yapı ve bitiş yüzeyine sahip olunabilmesine rağmen, yüksek orandaki karışımlarda kütlelerin düzenli olarak bir arada tutulamayışı risk olabilir. Polimer betonun özellikleri tane dağılımından etkilenir bu nedenle iyi bir granülometri ile yüksek dayanım sağlanabilir. Hava boşluğunu en aza indirmek ve sık bir yapı elde edebilmek (aksi halde hava boşluğu tanelerin sıkı temasını, elemanların sürünme ve deformasyonu direncini düşürecektir bunun) için farklı agrega boyutları birarada tutulur. Yiğın boşluğunun minimum olması için orta tane içermeyen süreksiz granülometrilere kullanılabilir. Böylece her iki halde de reçine miktarı azaltılarak, ekonomi sağlanıp, daha güçlü bir yapı oluşturulabilir. Cam fiber ve yastıklar kullanılarak mukavemet artırılabilir. Bu fiyatları etkiler. Fakat belirgin bir şekilde çekme ve darbe dayanımı artar.

Agregalardan beklenen özellikler; çok temiz ve yeterli mukavemete sahip, reçine ve sertleştiricisi ile kimyasal bir reaksiyona yol açmayacak türden ve çok kuru olmalı. Seçilen tane boyutları düşük kırılgenlik için ince olabilir. Malzemenin temiz ortamda

işlenmiş olması ve kırma makinalarında herhangi bir organik parçacık (toprak ve bitki artıkları gibi) olmamalıdır. Kırılma sonucu malzeme farklı boyutlarda ve çok sivri köşelidir. Kullanılan doğal agregalar ise, bir çok doğal (rüzgar, su, güneş ışınları v.b.) etken nedeniyle daha yuvarlak hatlara sahiptir. Polimer betonlarda mineral agregalar, bunların bağlayıcı maddesi olan reçineler ile bağlanır. Doğal agregaların yüzeylerinin bağlayıcı malzeme ile kaplanması öğütülmüş malzemeye nazaran daha kolay olmaktadır. Dolayısıyla öğütülmüş malzemeler ile polimer beton uygulamalarında vibrasyona özellikle dikkat edilmelidir. Geometrik hataları azaltmak ve eleman yapısı içerisinde çatlak oluşumuna yol açan iç gerilmeleri en aza indirmek için katılaşma süreci boyunca meydana gelen ısı düşük olmalıdır. Ayrıca, tanelere uygulanabilecek kontrollü büyük darbeli (şok) kuvvetler tanelerin sıkı temasını sağlar ve dolayısıyla bu da yüksek ısı genleşme katsayılı matris reçinenin etkisinin minimize olmasına neden olur [13].

#### 4.5 TASARIM

Polimer beton parçaları (1/4)" kalınlığa kadar ince ve istenildiği kadar kalın dökülebilir. Normal olarak (1/2)" lik bir kesit yeterli bir yapısal özelliğin meydana geldiği boyuttur. Avrupa'da genelde makina gövdeleri 3x3x9 ft boyut 6.6 lb ağırlıktadırlar. Bazı büyük parçalar, kalın kesitler bütün olarak yapılmakta, fiat ve ağırlığı azaltmak için de plastik köpükle doldurulmaktadır. 12" in üstündeki boyutlarda toleranslar  $\pm 0.005"$  e kadar dar tutulabilirler. Büzülme reçine miktarı ve cinsine göre değişir. Bazı durumlarda uygun dolgu malzemeleri kullanılarak büzülme en aza indirilebilir. Delikler işlenmiş boyutlarda dökülebilir. Sonradan da delinebilir veya vida çekilebilir. Genellikle dökümde delik yerlerine piriç çelik veya paslanmaz çelik çubuklar konur. Uzun deliklerde (uzunluğun çaptan 10 kat büyük olduğu durumlarda) metal ile PC'nin birleştiği kısımlarda oluşabilecek boşluk nedeniyle kırılma tehlikesi söz konusu olabilecektir. Parçaların biyış yüzeyinin düzgün ve boşluksuz olması kalıp yüzeyinin düzgünlüğüne bağlıdır. Doku (iç yapı) oluşu ve kaymaz yüzeyler uygun kalıp yüzeyiyle mümkün olabilir. Son derece karmaşık parçalar polimer betondan dökülebilir. Örnek olarak, pek çok maça gerektiren farklı düzlemlerde yerleştirilmiş hava sirkülasyon kanalları gerektiren bir soğutucu gövdesi bu yöntemle dökülebilir [21].

#### 4.6 KALIPLAR

Polimer beton numuneler için kalıp malzemesi olarak fiber glas, alüminyum, çelik, plastik veya ahşap kullanılabilir. Seçim için, parçanın girift veya basit bir geometriye sahip olması, parçaların sayısı, kullanılan malzemenin büzülme miktarı ve maliyet gibi faktörlere dikkat edilmelidir. Az sayıda parça üretilecekse veya parça düz yüzeylerden



oluşuyorsa ahşap kalıp kullanılabilir, fakat ömrü kısadır. Çok sayıda numune isteniyorsa metal kalıplar tercih edilebilir. Paslanmaz çelik en iyi yüzey kalitesini verir ve ömrüde uzundur, fakat sakıncası maliyetidir. Plastik veya cam takviyeli plastikler, kolay şekillendirilebilen, hafif, şekillendirilebilen, kolay onarılabilen ve fiyatı ile de üstünlüğü olan malzemelerdir. Bu nedenle yaygın olarak kullanılırlar. Parça formuna göre kalıp hazırlanır ve kalıbın hatları döküm sonrası parçanın kalıptan çıkarılmasında engel oluşturmayacak şekilde olmasına özen gösterilmelidir. Ayrıca kalıba döküm anında veya vibrasyon sırasında etkiyecek tüm kuvvetler nedeniyle, toleranslarını değiştirmemelidir. Kalıpların yüzey düzgünlüğünün tam olduğu kontrol edilip temizlenirler. Döküm sonrası kalıptan malzemenin kolayca ayrılması için kalıp yüzeylerine (Bölüm 3'de verilen) kalıp ayırıcı uygulanmalıdır. Ürün düz plaka şeklinde ise, kalıp ayırıcı olarak rulo filmler (doymuş poliestere, polivinil asetat, polivinil klorür v.b.) kullanılabilir. Girift ise, vaks sürülüp parlatılmış yüzeylere daha sonra polivinil alkol çözeltisi uygulanarak yüzeyde film tabakası oluşması sağlanabilir. Silikon içeren, spreyci veya sıvı halde kalıp ayırıcı veya yağlayıcı malzemelerde uygulanabilir. Burada önemli olan, birçok ürün arasında kullanılmakta olan kalıp malzemeleri için, en uygun sonuçları verecek kalıp ayırıcıların seçilebilmesidir. Seçim, malzemeler arasında bazı ön çalışmalar sonucu yapılabilir. Bu işlemler sırasında çalışılan ortamda nem veya toz olmamalıdır [21,53,54].

#### 4.7 DÖKÜM

Karışım işlemi basit olarak, özellikle küçük numunelerde elle veya büyük numuneler ile parça sayısı çok fazla olan seri üretim için bir karışım makinasıyla yapılır. Bu konuda öncelikle lavabo ve küvet türü sıhhi tesisat malzemeleri üretimi için poliestere reçine ve mermer tozuyla işlem yapılan tesislerde vardır. Endüstriyel alanda ise; Almanya'da yedi beton üretim tesisinde polimer betondan yapılan parçalar için üretim hatları kurulmuştur. Drenaj parçaları ve kaplama elemanları gibi bazı parçalar bu üretim hatlarında yapılmakta olan elemanlardır. Büyük modellerin hazırlanması için geliştirilmiş bir polimer beton döküm makinası ise; maksimum 2 ton/saat çıkış kapasitesine sahiptir. Rusya'da işleme kapasitesi 100.000 m<sup>2</sup>/yıl olarak verilmiştir. Hidroteknik, belediye hizmetleri, endüstriyel su işlem tesisleri, köprü ve zemin kaplama gibi endüstriyel işlemler için de, Amerika ve Çekoslovakya'da döküm üretim tesisleri geliştirilmiştir [12,33]. Japonya ve Almanya'da da benzer tesislerin geliştirilmiş olduğunu literatürlerden görmekteyiz. Döküm soğuk sertleştirme ile yapılacaksa, ortamın oda sıcaklığı (18-32 °C) veya civarı ve havadaki nem'in %80'in altında olması uygundur. Kullanılacak reçine, dolgu malzemeleri, katalizör, hızlandırıcı, katkı malzemeleri v.b. lerde ortam şartlarında olmalı fakat kesinlikle yabancı madde ve nem içermemelidirler. Üretimde kullanılacak tüm yardımcı ekipman işlemleri kolaylaştıracak yapıda ve temiz olmalıdır [55]. Sıcak sertleştirme ise seri çok

sayıda parçanın alınması için uygulanabilir. Bu durumda kalıplar genelde metal ve maliyetlidirler. Her sertleştiricinin etkili olduğu sıcaklık değerlerinde çalışılmalıdır. Sıcak sertleştirmede hızlandırıcı kullanılmaz, bu görevi sıcak yerine getirir. Isının artmasıyla jelleşme, dolayısıyla sertleşme süresinin azaldığı da belirtilmiştir [56]. Harç içinde kalabilecek hava kabarcıkları ürün kalitesini bozacaktır. Dolayısıyla, sıkı bir yapı eldesi için, sertleşme olmadan önce bu hava boşlukları dışarı atılmalıdır [13,53]. Bunu, vibratörler aracılığı ile malzemeye vibrasyon uygulaması ile sağlamak mümkündür.

Vibratörler; betonun içerisinde bulunan ve aralarında sürtünme dolayısı ile birbirine nazaran hareket edemeyen taneler, titreşim sayesinde, (kalıba konan harcın akıcı hale getirilip) kütlelerine göre farklı amplitüdlerle hareket etmeğe başlar. Bu esnada etrafındakilerle teması zaman zaman kesilen tanelerin, yer çekimi etkisi ile, boşlukları dolduracak şekilde ilerlemesi mümkün olur. Böylece vibratörün etki bölgesi içinde kalan kısım, belirli süre sonunda, sıkışmış ve kalıba boşluksuz olarak yerleşmiş olur. Betonun vibratör sayesinde kalıba boşluksuz olarak yerleştirilebilmesinin yararları; betonun mukavemetinin artırılabilmesi, betonun geçirgenliğinin azaltılıp hava tesirlerine karşı dayanımının artırılması, betonun kalıpta kalma süresinin kısalması ve mevcut bileşenler ile çok daha mükemmel bir sıkı yapı oluşumu olarak sıralanabilir. Dolayısıyla "polimer beton" üretimi için "vibrasyon" mutlaka gerekli gözükmektedir. Bunlar "dahili", "sathi" "masa" ve "kalıp vibratörler" olmak üzere 4 tiptir. Büyük kalıplı olan hacimli dökümlerde genelde "dahili"; yüzey uygulamalarında "sathi"; "dahili", "sathi" ve "masa" tipinin kullanılmayacağı kalın tabakalı, büyük hacimli ve içeriğinde harç dışında takviye malzeme olan dökümlerde "kalıp vibratörler" kullanılır [57,58]. Vibrasyonlu dökümde ağır ve yüksekliği fazla parçalar standart frekans (300 dev/dak), hafif ve yüksekliği az olan parçalarda ise yüksek frekanslarda (600 dev/dak) yoğunlaştırma yapılmalıdır [53]. Kalıpların açık yerlerinden hazırlanmış olan karışım, genelde vibrasyonla dökülür.

Döküm'de uygulanan "vibrasyon süresi" de çok önemlidir. Bu sürenin tespiti, hava kabarcıklarının, kalıbın açık olan, malzemenin döküldüğü kısımdan çıkışının kesildiği süreye, fakat reçine+sertleştirici bileşiminin firmanın vermiş olduğu pota ömrü süresinde kesinlikle aşmayacak şekilde olmasına dikkat edilir. Eğer karışım, firmanın verdiği pota ömrü süresini, vibrasyon süresinde geçmesine rağmen hala hava kabarcıklarının çıkışı gözlemleniyor ise burada reçine ve sertleştirici karışımının daha uzun pota ömrü verecek tiplerinin seçilmesini gerektirir. Aksi halde "jelleşme" çok önce başladığından yapı içerisinde kalmış olan hava kabarcıkları malzemenin geçirimli, mukavemeti düşük ve hava şartlarından etkilenir yapıda olmasına neden olacaktır. Ön çalışmalarla bazı vibrasyon süreleri incelenip en uygun olan belirlenmelidir. Pota ömrü firma tarafından seçtiğimiz reçine ve sertleştirici için verileceğinden, yapının sağlıklı yerleşimi için bu süre

ile ön çalışma süreleri karşılaştırılıp uygulanacak asıl değer belirlenmelidir. Belirlenmiş uygulanacak süre pota ömrü altında kalabilsede, uzun süre vibrasyon uygulanması doğru değildir. Aksi halde taneler ve bağlayıcıdan oluşan bu yapıda homojen bir yerleşim mümkün olmayacaktır. Dolayısıyla bu konunun çalışmadan önce kesinlikle belirlenmesinde zorunluluk vardır. Ayrıca "vibrasyon süresi" sadece bağlayıcılar değil dolgu malzemeleri, ve döküm hacmi ile kalıba doldurulan malzemenin verilmiş yönteminden de çok etkilenir. Çünkü geniş, yüzeyi açık olan ince tabakalı dökümlerde hava kabarcıklarının çıkışı, düşey, ince ve uzun olan kalıplara nazaran daha kolay olacaktır. Dolayısıyla yöntemin belirlenmesine de dikkat edilmelidir.

Ürünün kalıp içerisinde sertleşmesi beklenir. Malzemenin asıl kullanımı, yapıda sertleşme veya kemikleşme şeklinde tanımlanan bu olayın, tamamlanma süresi sonunda olması daha uygundur. Bu süre üretimin en hassas adımlarından biridir. Malzemeler için belirtilmiş olmasına rağmen ortam sıcaklığı ve nem'deki değişim ile ürün kalıbının formu ve kütlesi bu süreyi değiştirebilir. Fakat kalıpların çok sık kullanılması gerekebilir. Bu durumda, kalıptaki malzemeye zarar verilmediğinden emin olunan, kemikleşme süresinden daha kısa bir sürede de ürün kalıptan alınabilir. Bu kalıptan alma süresi ise birkaç numune üzerinde yapılacak değişik süreli çalışmalarla belirlenebilir.

Kalıplardan alınmış, kemikleşmesi tamamlanmış ürünlerin, gerekiyorsa çapakları temizlenir. Malzemenin mukavemetinin artırılması için, ürün (60–100°C'da birkaç saat) ısı kürüne de tabi tutulabilir [55]. İşlem sonrası yardımcı ekipmanın temizlenebilmesi için reçine tipine uygun çözücü malzemeler kullanılmalıdır.

# BÖLÜM 5

## DENEYSEL ÇALIŞMA

### 5.1 ÇALIŞMANIN AMACI

Literatür araştırmalarının içeriğine bakıldığında, tezgah gövdelerinin imalatı için yeni malzemelerin arayışı amacıyla yapılmış çalışmalar, özellikle suni reçinelerdeki gelişmelerin plastik ve kompozit malzeme üretimine yansmasıyla, araştırmaları "polimer beton" malzemesine kadar getirmiştir. Reçine tiplerine göre "epoksi beton", "poliester beton", "polimetilmetakrilat beton" v.b. birçok değişik polimer beton malzeme üretilmiştir. Bu polimer betonların makina yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği konusunda, yapılan çalışmalardan elde edilen bilgiler hiç de küçümsenmeyecek düzeydedir.

Yapılmış çalışmalardan da görülebileceği gibi, polimer betonun makina yapım malzemesi olarak, daha çok tezgah gövdeleri imalatı olarak, bir çok özellikleri açısından uygun şartlara sahip olduğu tespit edilmiştir. Ülkemizde de bu tür benzeri çalışmalar konusunda ilk adımlar atılmaya başlanmıştır. Makina yapım malzemelerinin pek çok mekanik özellikleri bir yana, yorulma dayanımı açısından da mukavemetinin belirlenmesi gerekir. Çünkü pratikte makina parçalarındaki hasarın büyük oranda yorulma ve çok az diğer zorlanmalar nedeniyle oluştuğu bilinmektedir [45,59].

Polimer beton malzemesinin, mevcut literatürlerde verilen yorulma dayanımı, bu malzemenin bir yapı malzemesi oluşu esasına dayanan test yöntemlerine göre belirlenmiştir. Bu deneysel çalışmamızda ise aynı malzemenin metal malzemelerin yorulma deneyine benzer tarzda bir sistem kurularak, yorulma dayanımlarının incelenmesi yoluna gidilmiştir.

Tabii ki sadece yorulma deney sonuçları bir anlam ifade etmeyecektir. Dolayısıyla yorulma deneyi yanında, işletmede diğer statik zorlanmaların etkisiyle oluşan deformasyonların belirlenmesiyle de, genel olarak malzeme hakkında dahada belirleyici ifadelere ulaşmak mümkündür. İlk planda polimer betonun takım tezgahı gövde yapım malzemesi olarak kullanılması düşünöldüğünde, gövde tüm yapıyı üzerinde taşıyan ve sistemdeki dinamik ve statik yüklere karşı yapıya destek olan ana elemandır. Dolayısıyla bası gerilmeleri oldukça önem kazanmaktadır. Eğilme ve burulma nedeniyle oluşan kesme kuvvetleriyle de gövde zorlanmaktadır. Tezgahın işleme kalitesi oluşturulan gövde

malzemesinin rijitliğine ve sönüm değerlerine de bağlı olacaktır [60,61,62].

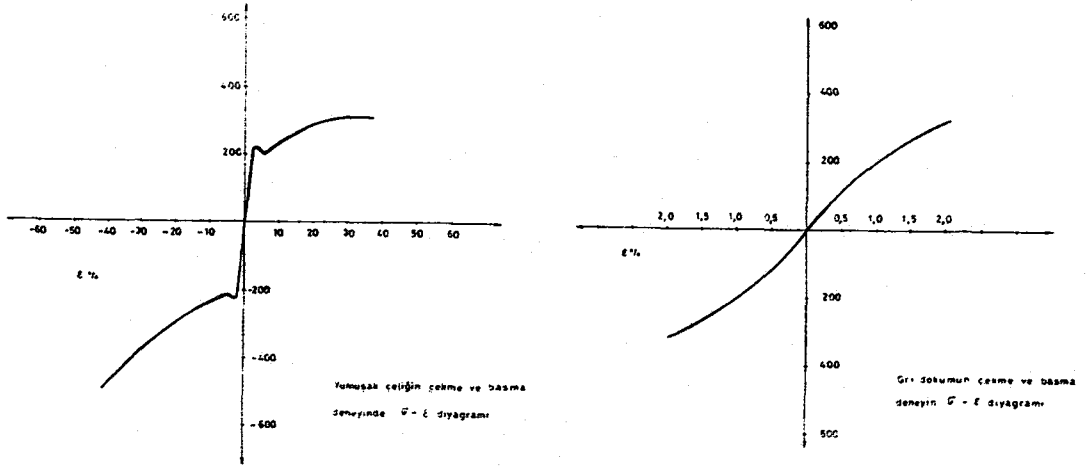
Daha önce yapılmış benzeri çalışmalarda polimer betonun belirli şartlar için, belirli özellikleri tespit edilmiştir. Makina yapım malzemesi olarak kullanımını belirleyen tüm mekanik özelliklerinin, benzer yapıdaki polimer beton'da davranışının nasıl değiştiği konusuna pek fazla değinilmemiştir. Bu çalışmada mekanik ve sönümlenme özelliklerinin yapıya bağlı olarak etkileşimini belirleyerek, tüm bu özelliklerin uygun olabileceği bir yapısal bileşim tespit edilmeye çalışılacaktır.

## 5.2 DENEY YÖNTEMLERİNİN BELİRLENMESİ

Yukarıdaki amaca yönelik bir yapısal bileşimin tespitinde, uygulanacak deney yöntemlerinin belirli bir sistematığe göre yapılması gerekir. Bunun için sırasıyla basma eğilme, yorulma ve sönüm deneyleri yapılacaktır.

### 5.2.1 Basma Dayanımı Deneyi

Deneyin asıl kullanma bölgesi, "yapı malzemeleri deneyleri" dir. Metal dışı; tuğla, taş beton ve metalik olan; gri dökme demir, yatak alaşımları gibi malzemelerin basma mukavemetleri, çekme mukavemetlerinden çok daha yüksek olduğundan, bu gibi malzemeler basma kuvvetlerinin uygulandığı yerlerde kullanılırlar ve basma deneyi ile muayene edilirler. Yumuşak bir çeliğin basma deneyinde ezilme sınırı çekme deneyinde olduğu gibi bariz değildir ve basma gerilmesi tesbit edilemez. Çünkü numune hasara uğramadan veya gerilme son durumuna ulaşmadan yassılaşabilmektedir. Bu nedene yumuşak malzemelerde basma deneyi yalnız ezilme sınırı üzerine kadar yapılır. Gevrek malzemeler ise basınç altında çok az şekil değiştirerek ya kayma veya yanıl genişlemeden doğan çekme etkisiyle kırılırlar. Çekme ve basınç eğrileri diyagramı birer doğru gibidir (Şekil 5.1). Fakat basınç mukavemeti çekme mukavemetinden çok daha büyüktür (ortalama 8 kat) [46]. Bu tür malzemelerde basınç deneyi zorunludur. Basma deneyi ile malzemelerin mekanik özellikleri tespit edilebilir. Basma deneyi sırasında numunenin kesiti devamlı olarak arttığından, çekme deneyinde görülen boyun teşekkülü problemi yoktur. Basma deneyi işlem itibarıyla çekme deneyinin tamamen tersidir ve basma deneyide çekme deney makinalarında veya yapı malzemeleri için, özel basınç deney makinaları (pres) kullanılarak yapılır. Basma deney cihazı ve cihazda kullanılan yardımcı ekipmanlar numuneyi test edebilecek yeterlilikte olmalıdır. Basma deneyinin bir avantajı da çok küçük numunelerin bile kullanılabilmesidir. Bu avantaj, bilhassa çok pahalı malzemelerle çalışıldığında veya çok az miktarda malzeme bulunduğu durumlarda çok faydalıdır. Basma numunelerinde üniform bir gerilme durumu elde edilmesi gayesiyle



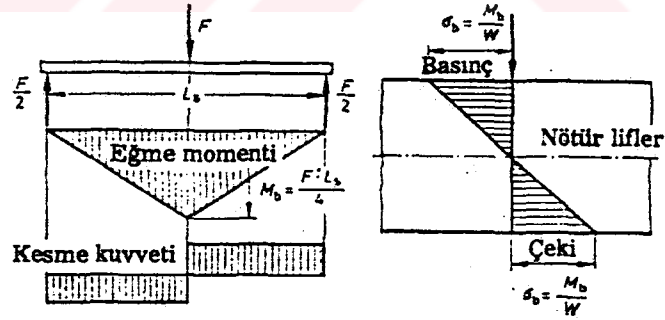
Şekil 5.1 Yumuşak çelik ve gri dökümün çekme ile basmada gerilme-uzama diyagramı

yuvarlak kesitli numuneler tercih edilir. Fakat kare veya dikdörtgen kesitli numunelerde kullanılabilir. Basma numunesi çapı ile yüksekliği arasındaki oranın çok büyük olması numunenin deney sırasında bükülmesine ve gerilmelerin numune üzerinde homojen olarak dağılmamasına neden olur, dolayısıyla yanlış sonuçlar elde edilir. Bu nedenle pratikte üst limit olarak yükseklik/çap oranı 10 veya daha az alınması tavsiye edilir. Numune yüksekliğinin çapa göre çok kısa olmasında istenmez, bu durumda numune ile numunenin basıldığı plakalar arasındaki sürtünme deney sonuçlarını etkileyecek değerlere yükselir. Bu nedenle alt limit olarak 1.5 veya üzeri tavsiye edilir. Farklı malzemeler için farklı yükseklik/çap oranı kullanılabilir, fakat genelde 2 olarak alınır [63]. Deney numunelerinin alın yüzeyleri ile plakalar arasındaki sürtünme kuvvetleri grafit, pudra, yağ veya kurşun ara levhaları ile küçültülebilir. Geometrik olarak birbirine benzeyen ve alın yüzeylerinin işlenmesi ile yağlanması aynı olan numunelerde, Elastisite modülü haricinde basınç deneyi sonuçları birbiri ile karşılaştırılabilir. Basınç gerilmeleri de çekme deneyindeki normal gerilme gibi verilir. Yani etkileyen kuvvet numunenin başlangıcındaki kesitine oranlanır [45,64,65].

### 5.2.2 Eğilme Dayanımı Deneyi

İki desteğe serbest olarak oturtulan, genellikle daire veya dikdörtgen kesitli düz bir deney parçasını yön değiştirmeksizin ortasına bir eğme kuvveti uygulandığında oluşan biçim değişmesidir. Numunelere ait boyutlar standartlarda verilmiştir. Deney genelde universal cihazlarda yapılır. Eğmeye zorlanan numune boyunca orta kısımdaki gerilmeler tabii

liftten başlayarak çevreye doğru artarak kenar bölgede maximum değerine ulaşan çekme ve basınç gerilmeleri etkiler. Aslında eğme gerilmeleride çekme ve basma gerilmeleri gibi etkileyen, normal gerilmelerdir. Eğmeye zorlanan çubuğun hesabında, çekme ve basma deneylerinde elde edilen mukavemet değerleri (örneğin orantılılık sınırı) esas alınabilir. Eğme deneyi özellikle yumuşak malzemelere uygulanabilir. Çekme deneyinde kolaylıkla belirlenen akma gerilmesi sınırı üzerindeki değerlerin, burada fazla önemi yoktur. Çünkü eğme çubuğu, eğme akma gerilmesi üzerindeki gerilme ile herhangi bir kırılma olmaksızın, bükülebilir (katlama deneyi). Gevrek malzemelere eğme deneyinin uygulanması daha önemlidir. Çünkü çekme deneyi sırasında malzemenin deforme olabilmesi çok zor olduğundan, kesin mukavemet değerlerinin elde edilebilmesi çok zordur. Deney numunesinin şekli (eğme boyu, numune kesiti veya çapı), üretimi ve işlenip işlenmediği önemlidir. Eğme numunesi iki mesnet üzerine oturtulup orta kısmından tek bir yükü numune kırılıncaya kadar yükleme yapılır. Bu şekildeki yükleme halinde, numuneye etki eden eğme momenti yanında, oluşan kesme kayma gerilmeleri ise, çubuk eksenine diktir ve verilen eğme momentinde, eğme boyu/çap oranı arttıkça küçülür. Eğme boyunun, çapa oranı 20 ise, kesme kuvveti nedeniyle etkileyen kayma gerilmeleri ihmal edilebilir. Eğme numunesinin oturduğu mesnet makaraları ve eğme zımbası numune çapına yakın ölçülerde yuvarlatılmış olmalıdır. Numune eğilme miktarı (sehim) eğme balkonunun makina temelinde göre hareketi olarak ölçülür [45,63].



Şekil 5.2 Gri döküm malzemenin eğme deneyinde, eğme gerilmelerinin hesabı için etkileyen gerilmelerin numune kesitindeki dağılımı

Mukavemet hesaplarında eğme gerilmeleri için;  $\sigma_b = M_b / W$  denklemi çıkarılmaktadır. Burada  $\sigma_b$  çevredeki maksimum eğme gerilmesi olarak anlaşılır ve aslında genelde, çubuk eksenindeki hiç gerilmesi olmayan liflerden başlayarak, çevreye doğru artan çekme ve basınç gerilmeleridir.  $w$ , "Mukavemet momenti" dir ve "eksenel atalet momenti,  $I$ " nın "nötr lifin çevreye uzaklığı,  $e$ " ye bölümüdür.  $w$  nin değeri gerilmeksiz life göre simetrik olmayan kesitler için (çekme ve basma gerilmeleri de) birbirinden farklıdır. Fakat simetrik kesitler

için, tek bir  $w$  ve  $\sigma_e$  hesaplanır. Şekil 5.2'deki gibi yüklenmiş silindirik çubukta, kuvvetin etkidiği noktanın alt tarafı, kırılmanın başlayacağı, kritik kesittir. Burada; " $\sigma_e$ , eğme gerilmesi"; " $M_e$ , eğme momenti"  $M_e = F.L/4$  ve " $w$ , mukavemet momenti"  $w = \pi.d^3/32$  değeri ile hesaplanır. Eğme deneyinde ölçülen diğer bir değer ise, numunenin kırılma anda gösterdiği  $f_e$  eğilmesi veya sehimidir. Bu miktar deney başlangıcından itibaren ölçülerek bu sehimi yapan kuvvet ile birlikte, numune malzemesinin E-modülü hesaplanır. Sehim için, elastik eğrinin iki kez entegre edilmesiyle;  $f_e = F.L^3/48.I.E$  'den hesaplanır. Bu denklem dairesel kesitli eğme kirişi için, hesaplanan atalet momenti, mukavemet momenti cinsinden yazılarak, E-modülü şu şekilde hesaplanabilir;  $E = F.L^3/24.W.d.f$ , bu denklemde sehimin sadece elastik kısmı yani  $f_{el}$  yerleştirilmelidir.  $f_{el}$  in belirlenmesi, kırış bir ön yüklemeye tabi tutulup, gittikçe artan yükleme ve ön yüklemeye kadar boşaltma yapılır ve yükleme sehiminden, kalıcı sehim çıkartılarak  $f_{el} = f - f_{kal}$  elde edilir.

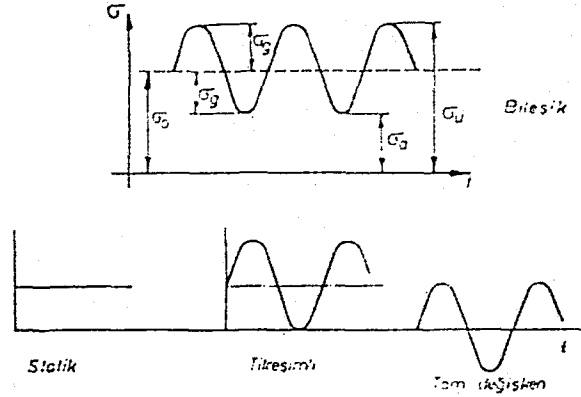
### 5.2.3 Yorulma Dayanımı Deneyi

#### 5.2.3.1 Yorulma Zorlanması ve Kırılma

Yorulma, değişken zorlanmalar altında malzemenin iç bünyesinde meydana gelen ve kopmasına yol açan değişiklikler olarak ifade edilmesine rağmen değişken zorlamaların darbeli veya dinamik zorlamalardan ayırt edilmesi gerekir. Değişken zorlama yükün veya gerilmenin zamana göre yönünü veya değerini değiştirdiği zorlamadır. Darbeli zorlama ise, yükün ani olarak tatbik edildiği zorlamadır. Her iki zorlamada malzemenin iç bünyesinde meydana gelen ve kopmasına yol açan değişiklikler farklıdır [66]. Yükleme şekillerini Bach üç grupta toplamıştır [67]. Bunlar, (Şekil 5.3) statik yük, titreşimli yük ve tam değişken yük şeklindedir. Bu yükler altında parçada oluşan gerilmeler de üst gerilme, alt gerilme, ortalama gerilme ve gerilme genliği tanımlarıyla gösterilir. Statik yüklemelerde sadece ortalama gerilme vardır ve değeri sabittir. Titreşimli yükleme ve tam değişken yüklemelerde ise gerilme zamanla sabit bir değer olmayıp üst, alt ortalama gerilme ve gerilme genliği vardır. Titreşimli yükleme halinde alt (veya üst) gerilme sıfır tam değişken yüklemelerde ise ortalama gerilme sıfırdır. Hem statik hem de dinamik kuvvetle yüklenen elemandaki yükleme şekli ise bileşik yüklemedir. Dolayısıyla burada söz konusu olan gerilmeler, sabit genlikli değişken gerilmelerdir. Makina elemanlarının çoğu çalışma esnasında tekrarlanan periyodik gerilmelere ve titreşimlere dolayısıyla değişken zorlanmalara maruz kaldıklarından yorulma olayının önemi kendiliğinden ortaya çıkmaktadır.

Tekrarlanan gerilmelerin metalik parçalarda oluşturdukları gerilmeler parçanın statik dayanımından düşüktür ve yorulmanın elastik bölgelerdeki gerilmeler sonucu oluşması





Şekil 5.3 Statik ve dinamik yükler

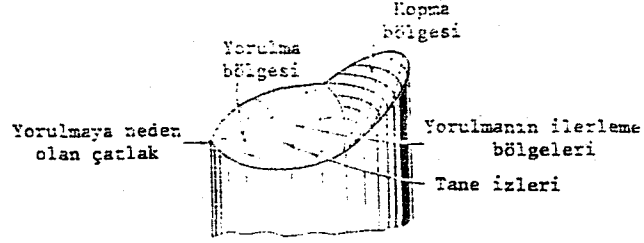
da ilginçtir. Buna rağmen bu gerilmeler belli bir tekrarlanma sayısı sonunda genellikle parçanın yüzeyinde bir çatlama ve bunun ardından da kopmaya neden olurlar. Bu olaya "Yorulma" adı verilir. Son yıllarda mikro yapıların binlerce defa büyütülüp elektron mikroskobu ile incelenmesiyle iç yapı hataları görülebilmektedir. Bugün teorik yaklaşımlar yorulma olayına kısmen bir açıklama getirebilmiştir. Günümüzde ele alınan teoriler konuyu tamamen özel olarak incelemekte ve yeni araştırmalara yol açmaktadır. Fakat henüz bu teoriler tasarım mühendisliğinde ortaya çıkan problemlerin çözümü için kesin veriler sağlayacak yeterlilikte değildir.

Pratikte makina parçalarında oluşan hasarın %90'ının nedeni yorulma ve diğer kısmı ise zorlanmalardır [45,59,63]. Genellikle malzemelerin yorulma mukavemetleri (numuneye verilen bir ortalama gerilme etrafında, numunenin kırılmadan taşıyabileceği gerilme değişimi) bilinmektedir. Ancak malzemenin makina konstrüksiyonundaki yorulma mukavemeti bilinmemektedir. Çünkü; deney, standart boyut ve belirli türde sabit gerilmeler uygulanarak yapılır; oysa pratikte kullanılan parçada koşulların hepsi değişiklik gösterir. Karmaşık olmaları sebebiyle bu koşulların analizi de zordur. Yorulma deneyi sonuçları belirli koşullar için fikir verir ve benzer koşulların bulunabileceği parça dizaynında önceden gerekli önlemlerin alınmasında yardımcı olur. Yorulma deneyi sonuçları, birçok faktörle değişim gösterir ve bunların belirtilmesi gerekir. Bunları; malzeme özellikleri (malzeme cinsi, malzemenin piyasaya sunuluş durumu, ergitme döküm koşulları, son mekanik işlemler, ısıl işlemler, kimyasal bileşim, yüzey durumu ve kalitesi), imalat hataları, deney numunesinin şekil ve boyutları, ani kesit değişimleri deney cihazının tipi, çalışma prensibi ve deney veya pratikte uygulanan gerilme, kuvvet iletiminin türü, ön gerilme, aşırı yüklenme ile frekans, rezonans titreşimleri, deneyin

yapıldığı ortamın koşulları, korrozyon ve sıcaklık, montaj hataları, bazı hallerde malzemenin diğer mekanik özellikleri ile metalografik yapısı, mikroyapının büyük ölçüde heterojen olması (iç yapıdaki çatlak, çentik, boşluk, sert parçacık, tane boyutu, faz dağılımı, inklüzyonlar) gibi sıralanabilir. Özellikle önemli parçaların yorulma özelliklerinin elde edebilmesinde, standart deney numuneleri yerine parçanın kendisi, özel cihazlarda çalışma koşullarına benzer koşullardaki deneyler ile daha güvenli sonuçlar elde edilebilir. Yorulma kırılmasının nedeni olarak, işletme koşullarındaki zorlanmalar sonucu ortaya çıkan, çekme veya basma gerilmeleri parça kesitinde eşit olarak dağılma, eğme ve burma gerilmeleri de yüzeyden ortaya doğru doğrusal bir azalma gösteremeyebilirler. Dolayısıyla uygulamada gerilme dağılımlarında az veya çok sapmalar görülür. Yukarıda verilmiş olan faktörler etkisinde parçada hasar öncelikle gerilme yığılmalarının olduğu bölgelerde başlar. Böylece bir çatlağın başlaması durumunda, yorulma kırılmasının önlenmesine çoğunlukla olanak yoktur. Elastik deformasyonlar çoğu kez dengede olmayan tane sınırları, atomların ve dislokasyonların yerel hareketleri ile submikroskopik bölgelerde kayma bantları oluşturur. Bunlarda yüzeyde çıkıntılar ve çöküntülerin doğmasına, dolayısıyla gerilme yığılmalarına neden olurlar. Bu hallerde tekrarlı zorlanmalar etkisinde, malzemenin ayrılma dayanımının aşıldığı noktalarda, oluşan tersinir olmayan plastik şekil değişimleri sonucu malzeme pekleşir, gevrekliği artar ve sonunda mikroçatlaklar doğar. Oluşmuş keskin çatlak bir çentik etkisi ortaya çıkaracağından, zorlanmayla dışarıdan verilen enerjinin büyüklüğüne de bağlı olarak çatlak zamanla yayılarak mikro ve makro çatlaklar olarak birleşir ve sonun da bu çatlaklardan herhangi biri, ki bu aşamada olay artık tamamen çevrim sayısı yani (frekansa bağlı olarak) belirli bir zamanda, ayrıca yük taşıyan kesit sürekli küçülüp, bu kesitte gerilmenin sınır değerlerinin giderek daha da yükselmesiyle, ani olarak yorulma kırılmasına neden olur.

Yorulma kırılması olan yüzeyler, genellikle görünüşleriyle ayrılabilirler. Çekme ve eğme zorlanması halinde, birbirinden farklı iki bölge (Şekil 5.4) meydana gelir, bunlar; düzgün ve mat veya bazen çatlak zamanla yavaş ilerlerken karşılıklı yüzeylerin sürekli birbirlerine sürtmesi sonucu yüzey parlak görünür ve bu "yorulma çatlağı" bölgesidir. Bu bölge genellikle sınır çizgileriyle kaplıdır. Bu çizgiler, yorulma zorlanmasına zamanla ara verildiğinde veya zorlanmalar azaltıldığında oluşur. Diğeri ise, kaba kristalli, taneli, yarıklar içeren, kısmen kalıcı şekil değiştirmiş, çatlağın ilerleyip geri kalan dolu kesitin normal yükü taşıyamaz hale gelip ani kırıldığı, "son kırılma bölgesi" dir [40,46,64].

Hasar çok küçük ve sınırlı bir bölgede başlayıp çatlak olarak ilerlediğinden dışarıdan herhangi bir kalıcı şekil değiştirme görülmez ve bu nedenle yorulma kırılmaları şekil değiştirmesiz olarak nitelenir. Hasarın ilk olduğu nokta çoğunlukla yüzeyde veya



Şekil 5.4 Yorulma kırılması

yüzeyin hemen altındadır, ancak heterojenliklerin veya malzeme hatalarının durumuna göre malzemenin iç kısmında da bulunabilir. Gözlemler yorulma çatlak ilerleme hızının çatlak derinliğinin karesi ile arttığını göstermektedir. Parçanın ikiye ayrılması çoğunlukla uzunca bir süreyi gerektirdiği ve zorlanma sürekli değiştiği için olay yorulma kırılması olarak adlandırılmıştır. Bazı hallerde ise yorulma çatlakları kesitin tam olarak ayrılması ile sonuçlanmaz; çatlak oluşması ile parça daha az zorlanır ve gerilmenin üst sınırı malzemenin yorulma dayanımı değerinin altında kalırsa veya çatlak çevresinde gerilme durumunun değişmesi ile yerel bir malzeme pekleşmesi olursa, çatlak ilerlemesi durabilir.

#### 5.2.3.2 Yorulma Deneyi Türleri ve Cihazları

Çalışmada, parçaya gelecek gerilme farklı tür ve şiddette olabilir ve bu yorulma deneyine de adını vermektedir. Bunlar genelde dört grupta verilebilirler [63]. Yorulma deneyinde kullanılan cihazlar da çok çeşitli olmalarına rağmen, bu cihazları numuneye uyguladıkları gerilme türü açısından aynı şekilde, yukarıda verilen gruplarla ifade etmek mümkündür.

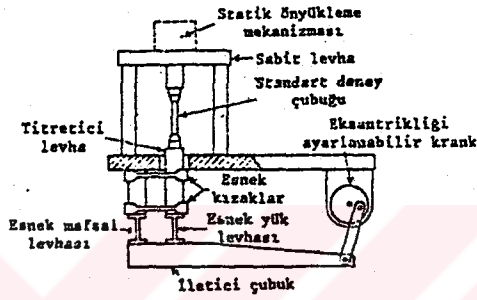
Numuneye uzunluğu boyunca değişen çekme ve basma gerilmeleri uygulanması ve bu gerilmenin numune enince de üniform olarak dağılmasıyla oluşan (Şekil 5.5) "eksenel gerilmeli yorulma deneyi" dir.

"Eğme gerilmeli yorulma deneyi" iki grupta değerlendirilir; "düzlemsel eğme gerilmeli yorulma deneyi" ki burada (Şekil 5.6), numune nötr (tarafsız) bir düzleme (veya eksene) göre tekrarlanan eğme gerilmeleri altındadır. Diğer, (Şekil 5.7) "dönen eğilme gerilmeli yorulma deneyi" ise, numune devamlı dönen bir nötr (tarafsız) eksene göre tekrarlanan eğme gerilmeleri altındadır. Elemanın kesitinde sabit bir yükleme yapılmasına rağmen tam değişken zorlanmaların olduğu düşüncesine dayanır ve ortalama gerilme sıfırdır.

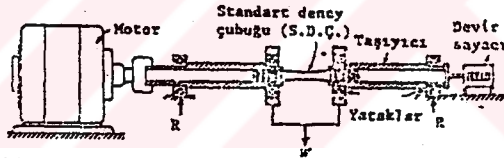
"Burma gerilmeli yorulma deneyi"; deney numunesi sabit bir eksene göre tekrarlanan

burma (dönme) işlemi uygulanmaktadır.

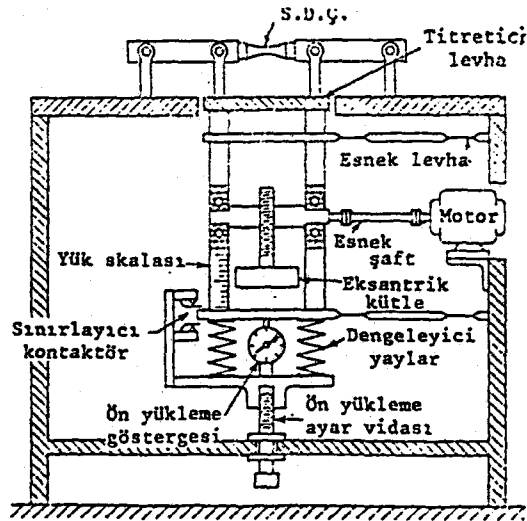
"Bileşik gerilmeli yorulma deneyi". Yukarıdaki farklı gerilme türlerinden iki veya daha fazlasının bir arada bulunabileceği durumlardır. En çok rastlanan, eğme-burma ve aksenal-burma gerilmelerinin bir arada bulunabileceği durumlardır.



Şekil 5.5 Aksenal çekme ve basma gerilmeleri uygulayan, sabit gerilme genlikli cihaz



Şekil 5.6 Numunenin dört noktasına kuvvet gelen ve dönen eğme gerilmeleri uygulanan "Schenk (Simplex)" modeli yorulma deney cihazı.



Şekil 5.7 Düzlemsel eğme gerilmesi uygulayan "Sonntag" modeli yorulma deney cihazı

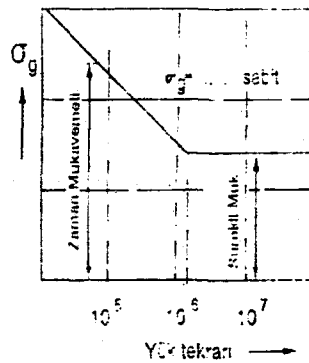
Yorulma deney cihazlarının tümü deney süresince istenen tür ve değerlerde gerilme sağlayabilmelidir. Uygulanan yükte oluşabilecek değişim, deney süresince cihazın çalışma kapasitesinin %2'sini aşmamalıdır. Cihazlara uygulanan kuvvetleri gösterebilecek ve kontrolünü sağlayacak bir cihaz, ayrıca çevrim sayılarını kaydeden ve numune kırıldığında otomatik olarak durabilecek özellikte bir sayaç da bulunmalıdır. Eğer soğutma ile, sıcaklığın artması önlenemiyor ve izin verilen sınırı aşmıyorsa, yük değişim frekansının 200–15000 dev/dak olmasında sakınca yoktur [40,45,46,59,63]. Malzemelerin yorulma mukavemeti, konstrüksiyonlarda çentik olarak etkiyen imalat işaretleri, delikler kama yarıkları ve yüzey işleme çizgileri tarafından azaltılır. Bu mukavemet düşmeleri için yapılan hesaplamalarda, yapılan denemeler sonucu elde edilen diyagram ve tablolarla verilen katsayılardan faydalanılır. Parça yüzeyine bası iç gerilmeleri (basınç yaparak parlatma, malzemenin pekleştirilmesi veya yüzey sertleştirilmesi gibi) oluşturulabilirse yorulma mukavemeti oldukça fazla (yaklaşık olarak %30) artar [45]. Malzeme içindeki bası iç gerilmeleri kaldırıldıktan sonra, ancak çekme gerilmesi altındaki çentikler, zararlı olacak şekilde etkilemektedirler. Kullanılacak numune tipi ve boyutu genellikle cihazın tipine, kapasitesine ve boyutuna bağlıdır ve cihazlara uygun farklı numune tiplerinde geliştirilmiş olduğu görülmektedir. Numune boyutları için standartlar da hazırlanmış ve genel bazı kurallar geliştirilmiştir. Deney için, 6–12 numune veya imal edilmiş parça gereklidir ve kullanılan deney parçalarının sayısı eğer pahalı bir makina parçası test ediliyorsa, azaltılabilir [45,59,63,68,69]. Numuneler malzeme, şekil ve işleniş tarzı bakımından birbirlerinin tamamiyle aynı olmalıdır. Makina parçalarının işlenmesi konstrüktif olarak verilen imalat metoduna göre imal edilmeli ve bunun yanında malzemeden doğrudan doğruya alınan numuneler de, daima parlatılmış olmalıdır. Deney makinası veya zorlanma şekline göre, numuneler yassı veya silindirik olarak hazırlanır.

### 5.2.3.3 Wöhler Eğrisi ve Smith Diyagramı

Bir deney çubuğu, sabit bir yük etrafında sinüs fonksiyonu şeklinde değişen yük ile yüklendiğinde, bu yükün çubukta doğurduğu gerilme altında, çubuğun yükün kaç tekrarından (yük tekrarı N) sonra kırıldığı belirlenir. Daha sonra diğer deney çubukları farklı genliklerle yüklenir, kırılma anındaki yük tekrar sayısı (N) belirlenir. Yük genliği azaltılırsa azaltılırsa, yük ne kadar tekrarlanırsa tekrarlanırsa kırılmanın meydana gelmediği sınır bulunur (Bu sınır; pratikte çelik için  $10 \times 10^6$  alınır. Demir dışı metal ve alaşımlarda veya yüksek sıcaklıktaki çeliklerde ise genel bir çevrim sayısı yoktur ve  $100 \times 10^6$  gibi veya daha fazla alınır, çünkü bunlarda çevrim sayısı arttıkça Wöhler eğrisi aşağıya doğru iner ve ancak apsise yakın yerde asimtotik hal alır. Fakat bu deney süresini çok uzatacağından, deney raporunda belirtilmek şartıyla, çelik için  $2 \times 10^6$  ve diğerleri için  $10 \times 10^6$  olarak [40,45,59,63,68,69] alınabilir). Bu gerilme "sürekli mukavemet sınırı" olarak

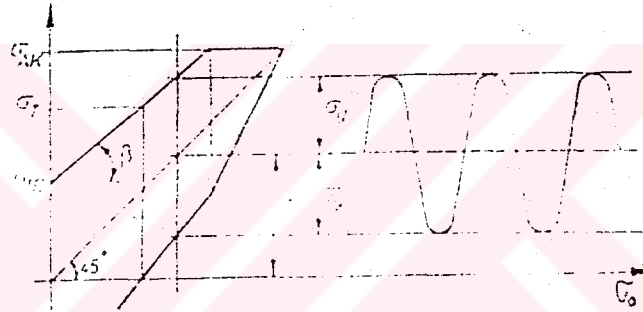
anılır, Wöhler tarafından, "gerilme genliği" ile "yük tekrarı" arasındaki bağıntıyı veren deney sonuçlarını gösteren eğriler elde edildiğinden bunlara "wöhler eğrisi" (Şekil 5.8) denilmiştir. Belirli bir yük tekrarıdan sonra malzemenin kırılmasına neden olan gerilmeleri içeren bölgeye "zaman mukavemet bölgesi", kırılmanın görülmediği bölgeye "sürekli mukavemet bölgesi" adı verilir. Her Wöhler eğrisi sabit bir ortalama genlik etrafındaki yüklemelerin sonuçlarını verir. Pratikte ise genlik değeri sıfır ile malzemenin akma sınırı arasında çeşitli değerler alabilir. Bunun için malzemenin tüm dinamik durumlar için deneylerinin yapılması ve ayrı ayrı Wöhler eğrilerinin çizilmesi gerekir.

Gerilme eksenini olan ordinatta genellikle doğrusal, bazı hallerde ise logaritmik skala kullanılır. Çevrim sayısı eksenini olan apsiste ise genellikle logaritmik skala kullanılır. Malzemenin tam  $N$  çevrim sonunda çatlama (veya kopma) gösterdiği gerilme "yorulma dayanımı" olarak tanımlanır. Bu değer bazı hallerde benzer numunelerin  $N$  çevrime dayanabileceği gerilmelerin medyan ortalaması olarak alınır, bazı hallerde ise ortalama gerilme sıfır iken  $N$  çevrimde benzer numunelerin % 50'sinin dayanabileceği gerilme olarak alınır. Wöhler diyagramında, eğrinin asimtotik durum aldığı gerilmeye "yorulma dayanımı sınırı" adı verilir. Bu gerilmenin altındaki periyodik gerilmelerde parçanın sonsuz çevrime dayanabileceği kabul edilir. "Yorulma ömrü" ise, benzer numunelerin sabit koşullarda belirli bir gerilme altında çatlama (veya kopma) gösterdikleri  $N$  çevrim sayılarının medyan ortalaması şeklinde tanımlanır. Bazı keyfi hallerde, uygulanan gerilme altında numunelerin belirli bir yüzdesinin (%90, %95, v.b.) çatlama olmadan dayandığı çevrim sayısı olarak alınmaktadır [63]. Yorulma deneylerinde genellikle medyan ortalamalar daha sağlıklı sonuçlar verdiğinden, aritmetik ortalamaya tercih edilirler.



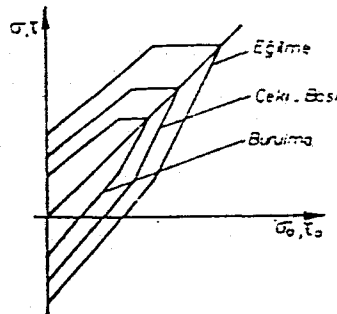
Şekil 5.8 Wöhler eğrisi

Bütün bu sonuçlar "Smith diyagramı" da denilen "sürekli mukavemet diyagramı"nda bir tek diyagram halinde (Şekil 5.9) gösterilir. Sürekli mukavemet diyagramı, yatay eksen yönünde ortalama genlik, dikey eksen yönünde de bu ortalama genlik için yapılmış Wöhler deneyinden elde edilen sürekli mukavemet değeri taşınarak elde edilir. Akma mukavemeti, titreşimli yük sürekli mukavemet değeri ve tam değişken sürekli mukavemet değeri bilinen bir malzemenin sürekli mukavemet diyagramı çizilebilir. Titreşimli yük sürekli mukavemet değerinin bilinmediği hallerde de tam değişken mukavemet değeri ile akma mukavemeti arasında üst gerilme sınırını belirleyen çizgi yatayla  $40-42^\circ$  açı altında çizilerek, yaklaşık Smith diyagramı elde edilir. Ortalama gerilme, gerilme genliği, gerilme aralığı ve gerilme oranı gibi faktörlerin yorulmaya büyük etkileri olduğundan, bu faktörlerin tümünün incelenebileceği "sabit yorulma ömrü diyagramları" adıda verilen "Smith diyagramları", mühendislik uygulamalarında daha faydalı olmaktadır.



Şekil 5.9 Sürekli mukavemet (Smith) diyagramı

Dinamik kuvvetlerin meydana getirdiği zorlamanın eğilme, çeki-bası ve kayma olmasına göre elde edilecek sürekli mukavemet diyagramları farklı olup her üçünü bir diyagramda göstermek de mümkündür. Eğilmeye tüm kesit aynı çeki-basıya zorlanmadığı için, sadece çeki-bası zorlamasının olduğu duruma göre daha büyük bir tam değişken sürekli mukavemet değeri elde edilir. Burulmada ise kırılma hipotezlerinden elde edilebileceği gibi kayma gerilmesi normal gerilmenin 0.5'i olduğundan, maksimum tam değişken zorlanma değerleri sırasıyla eğilme, çeki-bası ve burulma olarak sıralanırlar [67].

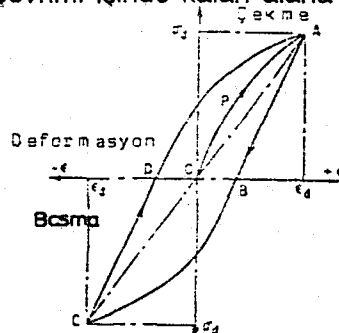


Şekil 5.10 Eğilme, çeki-bası ve burulma zorlanmaları için Smith diyagramı

## 5.2.4 Sönüm Deneyi

### 5.2.4.1 Sönümlenme

Gerçek serbest titreşimler, herhangi bir dış etki olmadan, sürekli devam edemezler. Sistemin yapısı gereği mevcut veya sisteme ilave edilmiş harekete karşı koyan dirençlerle sönümlendirilirler. Harekete karşı koyan bu direnç genellikle hıza bağlıdır. Hızla orantılı bu direnç kuvveti halinde viskoz veya lineer sönümlü sistemden, bunun dışında ise lineer olmayan sönümden söz edilir [70]. Sönümlenme, mekanik enerjinin miktarı olarak karakterize edilir. Malzeme bu enerjiyi titreşimli zorlamada iç enerjiye dönüştürür [71]. Malzeme sönümü, karmaşık fiziksel etkilere verilen bir isimdir ki bu etkiler bir katı maddeye sahip titreşen bir mekanik sistemin kinetik ve deformasyon enerjisini ısıya çevirir. Makina veya elemanlarında kaçınılmaz olarak ortaya çıkan titreşimler, iç sönümlenme (malzeme iç direnci) ve dış sönümlenme (damper, absorber, v.b.) ile azaltılabilir. Enerji, titreşen bir sistem içerisinde tüketilmelidir. Çevrimsel gerilim altındaki enerji tüketimidir ve dinamik absorblayıcılar gibi enerji transfer mekanizmalarıyla ilgili değildir. İç sönüm yüksek ise, sönümlenen enerji miktarları da artar. İç sönüm malzeme sürtünmesinden doğduğundan, ısıya dönüşür ve kayıp enerjidir [72]. 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 olayla düşük deformasyon ve gerilim değerlerinde iç sürtünmeler, büyük deformasyon ve gerilim seviyelerinde ise malzeme sönümü terimleriyle ifade edilir [73]. Çevrimsel gerilim altında çeşitli sönüm mekanizmaları, Şekil 5.11'deki gibi bir gerilim deformasyon histeresiz çevrimi oluşturur. Çeşitli inelastik ve anelastik mekanizmalar çevrimsel gerilim süresince faal olduğu için gerilim deformasyon eğrisinin yüklenmemiş AB dalı ilk yüklenme dalı OPA'nın altına düşer OPA ve AB eğrileri yalnızca mükemmel elastik malzemeler için kesişir. Çok düşük gerilim seviyelerinde bile, böyle malzemeler ile pratikte karşılaşılmaz, bir çevrim süresince, br. hacim başına tüketilen sönümlenme enerjisi, gerilim limitleri veya deformasyon limitleri arasında ABCDA histeresiz çevrimi içinde kalan alana eşittir [72].



Şekil 5.11 Malzemelerin gerilim-deformasyon histeresiz çevrimi

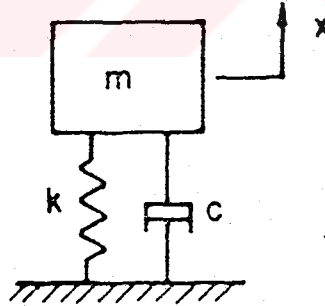


### 5.2.4.2 Titreşimler

Bir mekanik sistemin titreşimlerini, "serbest titreşimler" ve "zorlanmış titreşimler" olmak üzere ikiye ayırabiliriz. "Serbest titreşimler", titreşim sistemini denge konumundan ayırdıktan sonra belirli bir ilk hızla veya hızsız olarak kendi haline bırakılması sonunda ve geri getirici tesir sonucunda doğan titreşimlerdir. Bu serbest titreşimlere karşı sürtünme v.s. gibi bir direnç mevcut değilse, titreşimler sonsuza kadar devam ederler ve "sönümsüz serbest titreşimler" adını alırlar. Gerçek sistemlerde, yukarıda da ifade edildiği üzere harekete karşı koyan bir direnç muhakkak vardır. Denge konumundan ayırdıktan sonra kendi haline bırakılmış titreşim sisteminde, serbest titreşimlerin genliği zamanla azalır ve "sönümlü serbest titreşimler" adını alırlar. Fakat sistemi titreşim yapmaya zorlayan bir etken mevcutsa, bu durumda "zorlanmış titreşimler" den söz edilir [70,74,75].

#### 5.2.4.2.1 Sönümsüz serbest titreşimler

Şekil 5.12'de titreşim yapan bir sistemin en basit modeli görülmektedir. Burada, (k) direngenliği gösteren yay katsayısı, (m) toplam kütle, (c) enerji kaybını gösteren viskoz sönüm katsayısı, (X) referans konuma göre yer değişimidir. Bu sadece tek doğrultudaki hareketi verdiği için tek serbestlik dereceli bir modeldir.



Şekil 5.12 Titreşen bir sistemin en basit modeli

Tek serbestlik dereceli sistemin hareketini tanımlayan dif. denklemi:

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

iken, "sönümsüz" olması durumunda ( $c=0$ );

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + kx = 0$$

ve denklemin çözümü;

$$x(t) = X \sin(\omega_n t - \psi)$$

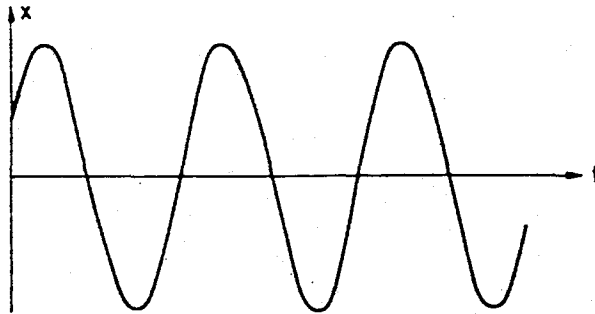
yazılır. Burada, (X) "titreşimin genliği", ( $\omega_n$ ) "doğal frekans", ( $\psi$ ) "faz açısı" dır. Çözümüne göre, sönümsüz bir sistemdeki serbest titreşimleri, bir sinüs eğrisiyle gösterilebilen harmonik titreşimlerdir (Şekil 5.13). Sistemin doğal frekansı, sistemin bir özelliğidir ve sistemin kütlesiyle direngenliği tarafından belirlenir. Sönümsüz sistemde doğal frekans;

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

ve frekans ise;

$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

yazılabilir. Bu halde; (X) genlik ve ( $\psi$ ) faz açısı başlangıç koşullarına bağlıdır. Sistemin ( $t=0$ ) anındaki konumu ve hızından yararlanılarak bulunan iki denklemden, X ve  $\psi$  bilinmeyenler kolayca hesaplanabilir ve bunlar başlangıç koşullarına bağlıdır. ( $\omega_n$ ) ise sistemin bir özelliğidir ve başlangıç koşullarına bağlı değildir.



Şekil 5.13 Sönümsüz serbest titreşimler

### 5.2.4.2.2 Sönümlü serbest titreşimler

Titreşen bir sistemin en basit modeli olan, tek serbestlik dereceli "sönümlü" sistemin hareket denkleminin çözümü;

$$\frac{c}{2\sqrt{km}}$$

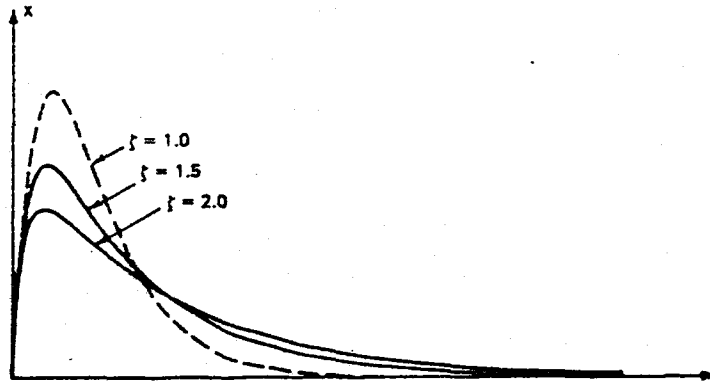
oranına bağlı olarak, değişik şekillerde olabilir. Bu orana "sönüm oranı" adı verilir ve ( $\zeta$ ) ile gösterilir. Boyutsuz bir parametre olan ( $\zeta$ ) tanımı;

$$\zeta = \frac{c}{2\sqrt{km}} = \frac{c}{2m\omega_n}$$

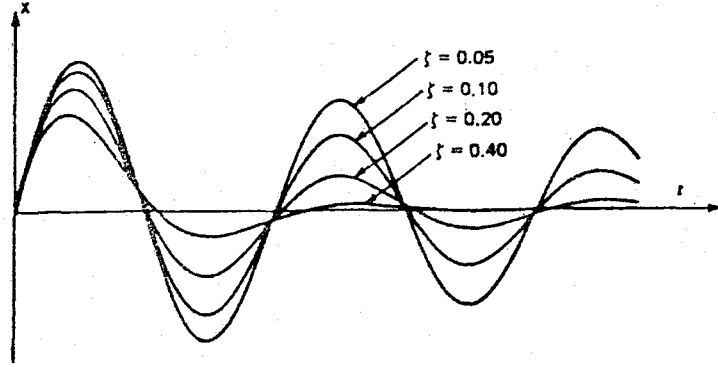
( $\zeta$ ), Sönüm oranının değeri, serbest titreşimlerin özelliğini belirler. Buradan:

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 ve hareketin genel karakteri Şekil 5.14'deki gibidir. Hareketin başlangıç noktası ve eğimi, başlangıç koşullarına bağlıdır. Sönüm oranı birden küçük olan sistemlerde, yani kritik altı sönümlü sistemlerde, serbest titreşimler Şekil 5.15'de görüldüğü gibidir.



Şekil 5.14 Kritik ve kritik üstü sönümlü sistemlerde serbest titreşimler



Şekil 5.15 Kritik altı sönümlü sistemlerde serbest titreşimler

Mekanik sistemlerde sönüm oranı genellikle birden küçük olduğu için, incelemelerimizde kritik altı sönümlü sistemler ayrı bir önem kazanmaktadır. Özellikle, gürültüye neden olan mekanik yapı titreşimlerini düşünürsek, sönüm oranının birden çok küçük olduğunu ve bu kapsamda incelenen yapıların hemen hemen hepsinin kritik altı sönümlü sistemler olduğunu söyleyebiliriz. Bu nedenle, bu kısımda yalnız kritik altı sönümlü sistemler için hareket denkleminin çözümünü incelememiz yeterli olacaktır. ( $\zeta < 1$ ) için, hareket denkleminin çözümü;

$$x(t) = X e^{-\zeta \omega_n t} \text{Sin}(\omega_d t - \psi)$$

şeklinde yazılabilir. Burada ( $X$ ) ve ( $\psi$ ), yine başlangıç koşullarına bağlı olarak değişen sabitler, ( $\omega_n$ ) doğal frekans, ( $\omega_d$ ) ise sönümlü doğal frekanstır. Bu son  $X(t)$  ifadesinden de anlaşılacağı üzere hareket, genliği zamanla azalan harmonik bir harekettir ve hareketin frekansı ( $\omega_d$ ) dir. Sönümlü doğal frekans adı verilen ( $\omega_d$ ), doğal frekans ( $\omega_n$ ) ve sönüm oranı ( $\zeta$ ) tarafından belirlenir.

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2}$$

Bu eşitlik ( $\zeta < 1$ ) için geçerlidir. Eşitlikten de görüleceği gibi, sönüm oranının küçük değerleri için ( $\zeta < 0.2$ ), ( $\omega_d = \omega_n$ ) alınabilir. Kritik altı sönümlü sistemlerin hareketini veren son  $X(t)$  ifadesi; titreşimlerin zamanla sönme hızının ( $\zeta \omega_n$ )'e bağlı olduğunu görürüz. Titreşim genliğinin bir salınımdaki azalma oranı ise, yalnız sönüm oranına bağlıdır. Sönümün sıfıra gitmesi durumunda ise ( $\omega_d = \omega_n$ ) ve ( $e^0 = 1$ ) olduğundan  $X(t)$  ifadesi;

$$x(t) = X \text{Sin}(\omega_n t - \psi)$$

haline döner. Gerçek mekanik sistem ve yapıların hepsi sönümlü olmakla birlikte sönüm oranı çok küçük olduğu zaman; sistem sönümsüz kabul edilerek titreşim analizinde kolaylık sağlayabilmek amacıyla sönümsüz bir sistem modeli kullanılmaktadır. Sistemdeki

elastik elemanın malzeme özelliklerinden kaynaklanan sönüm, malzemenin cinsine bağlı olarak değişen bir sönüm oranı olarak göz önüne alınabilir.

#### 5.2.4.2.3 Kuvvet titreşimleri

Şekil 5.12'deki tek serbestlik dereceli bir sistemin kütlesine,  $F(t)$  gibi bir dış kuvvetin (zorlamanın) uygulanmasıyla oluşan titreşimlere "zorlanmış titreşimler" adı verilir. Burada, titreşim özellikleri sistem üzerindeki dış kuvvetin özelliklerine bağlıdır. ( $F_0$ ) genlikli ve ( $\omega$ ) frekanslı;

$$F(t) = F_0 \sin \omega t$$

şeklindeki harmonik bir kuvvetin, Şekil 5.12'deki sistem kütlesi üzerine uygulanmasıyla oluşam zorlanmış titreşimler;

$$x(t) = X_0 \sin(\omega t - \psi)$$

ile gösterilebilir. Burada ( $X_0$ ) titreşim genliği ve ( $\psi$ ) faz açısı olmak üzere;

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

$$\psi = \tan^{-1} \frac{2\zeta\omega/\omega_n}{1 - \omega^2/\omega_n^2}$$

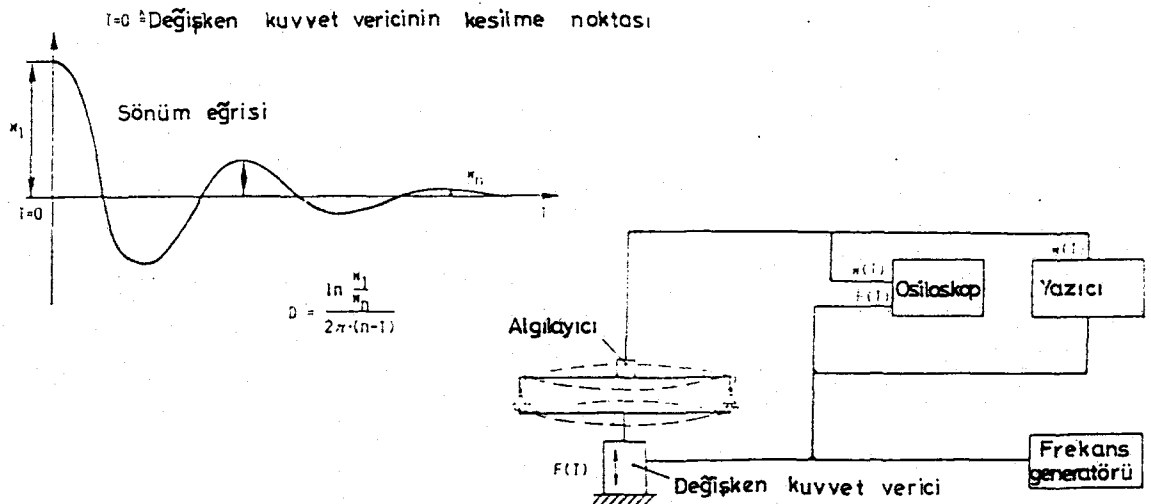
Görüldüğü gibi, harmonik bir uyarı kuvveti, bu kuvvet ile aynı frekansta olan harmonik titreşimler yaratmaktadır. Titreşimlerin genliği ( $X_0$ ) ve faz açısı ( $\psi$ ), sistem özellikleri ve uyarı kuvveti tarafından belirlenmektedir. Yukarıdaki  $x(t)$  ifadesiyle tanımlanan titreşimler, yalnız uyarı kuvvetinin dikkate alınarak elde edilmiş sonuçtur. Sistemin, aynı zamanda, başlangıç koşullarından kaynaklanan serbest titreşimleride olacaktır. Ancak, kısa bir süre sonra, serbest titreşimler söneceğinden yalnız uyarı kuvvetinden kaynaklanan titreşimler gözlenecektir. Serbest titreşimler sönene dek gözlenen titreşimlere "geçiş", serbest titreşimlerin sönmelerinden sonra gözlenen titreşimlere ise "sürekli" rejim titreşimleri denir. Sönümsüz bir sistemin serbest titreşimleri, terik olarak hiçbir zaman sönmez. Fakat, unutmamak gerekir ki, sönümsüz bir sistem modeli, matematiksel işlem kolaylığı sağlamak amacıyla yapılan bazı basitleştirmeler sonucunda ortaya çıkan yaklaşık bir modeldir. Böyle bir modelin simgelediği gerçek mekanik sistemde ise, az da olsa belli bir sönüm vardır. Bu nedenle, sönümsüz bir model bile olsa, gerçek sistemde serbest

titreşimlerin söneceğini bildiğimizden, sürekli rejim titreşimleri olarak  $x(t)$  ifadesinde tanımlanan titreşimler alınmalıdır. Harmonik uyarı durumunda, geçiş rejimi titreşimleri genellikle çok kısa süreceğinden sürekli rejim titreşimleri önemlidir. Sönümsüz serbest titreşimler ile zorlanmış harmonik titreşimler, matematiksel gösterimleri bakımından benzer gözükmeyle birlikte, iki tür titreşim arasında şu önemli farklar vardır; Birincisi; Serbest titreşimlerin frekansı doğal frekans, zorlanmış titreşimlerin frekansı ise uyarı frekansıdır. İkincisi ise; Serbest titreşimlerin genliği ve faz açısı sistem özelliklerine ve başlangıç koşullarına, zorlanmış titreşimlerin genliği ve faz açısı ise sistem uyarı kuvveti özelliklerine bağlıdır.

#### 5.2.4.3 Sönümün Belirlenmesi

Genellikle sönümlenme, titreşim sayısı, zorlanma hareketi, deney ve sıcaklığa bağlıdır. Yorulma deneylerinde malzemenin sönümlenmesi, örneğin elektriksel veya optik taşıyıcılar yardımıyla mekanik histeresiz bağın fotoğraflanabilmesiyle, sürekli mukavemette diğer malzeme özelliklerinden çok daha sık meydana geldiği belirlenmiştir. Isı üretimi veya darbe denemeleri de, sönümün belirlenmesinde kullanılan diğer yöntemler olarak belirtilebilir. Sınır sönümlenme olarak, titreşimli zorlamadaki sönümlenme anlaşılır, bundan yorulma gerilmesi diye de söz edilir ve bu yorulma gerilmesinin oluşumunda bir malzeme sayısı olarak ifade edilir [69].

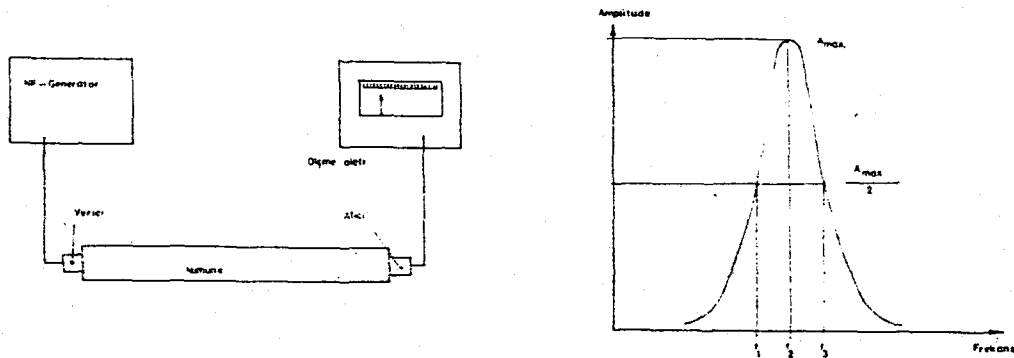
Malzeme değeri olan sönüm derecesi, ses üstü deneyleri yanında "zorlamalı eğilme çubuklu" sistemin sönüm ölçüsünden de (D) belirlenebilir. Deney seti şematik resmi Şekil 5.16'da verilmiştir. Deneylerde, sönüm zamanın bir fonksiyonu olarak amplitüd oluşumu şeklindedir. Numune ilk olarak kendi öz frekansında zorlandığından değişken



Şekil 5.16 Zamanın fonksiyonu olarak sönümün belirlenmesi

kuvvet tahrik dinamosu sinyali, sinüzoidal şekilde test sinyali veren frekans jeneratörü tarafından artırılır. Değişken kuvvet vericinin kesilmesinden sonra sönümlenme osilograf ve yazıcı ile kaydedilir. Elde edilen sönüm eğrisinden, şekilde verilmiş "logaritmik dekrement" veya "azalma" adı da verilen ve (D) ile (sönümlü tek frekanslı bir salınımda sırayla gelen iki genlik oranının doğal logaritmasıdır) ifade edilen değer hesaplanmasıyla, sönüm ölçütü belirlenmiş olur ve bu durumda malzemenin sönümü ile ilgili değerlendirmeler yapmak mümkündür [70,76,77,78]. İnceleme sonucuna göre polimer betonun sönüm derecesi, metalik malzemelere göre 2-3 kat daha büyüktür [4].

Diğer bir şekil ise; eğilme veya çeki-bası zorlaması etkisinde polimer beton malzemenin sönümü uzunlukların enine ölçülerinin 4-6 kata kadar olan numuneler ile belirlenebileceği ifade edilmiştir. Bunun için 40x40x200 mm veyahut 60x60x300 mm gibi eğme kolu numuneler kullanılabilir. Sistemde (Şekil 5.17), numune bir titreşim verici ile tahrik edilir. Basit ölçümler için boyuna titreşimler verilmiştir. Numunenin öz frekansından rezonans oluşur ve alıcıda bir maksimum sinyal tespit edilir. Bunu takiben çift frekans ölçülür. Bu frekansların yanında amplitud, maksimum değer yarısında yavaş yavaş azalmaktadır. Burada, rezonans frekansı ( $f_0$ ) ve amplitud oluşumunda belirlenecek frekanslar ( $A_{max}/2$ 'den bulunan;  $f_1$  ve  $f_2$ ) yardımıyla; "logaritmik dekrement" denilen ifade;  $\{(\pi \cdot 3)^{1/2} / 3\} \times (f_2 - f_1) / f_0$  'ın hesaplanmasıyla, sönüm ölçütü de belirlenmiş olur. Ölçümde, titreşimleri azaltabilmek için numune birkaç cm kalınlığında bir sünger maddesi ile yataklanmalıdır [79,80].



Şekil 5.17 Sönüm ölçütünün belirlenmesi

Sönüm deneyi için, şekillerden de görülebileceği gibi, osiloskop, yazıcı, algılayıcı frekans jeneratörü v.b. diğer cihazlara da ihtiyaç vardır.

#### 5.2.4.4 Strain Gauge'ler

Bunlar; metal bir tel üzerine gerilim uygulandığında, uzunluk ve çap değişimiyle, aynı zamanda (strain ölçümlerinin temel prensibi olan) elektrik direncindeki değişim esasıyla işlevlerini sürdüren ve algılayıcı olarak görev yapan elemanlardır.

Gauge tiplerini; "bileşik tel", "bileşik folye" ve "yarı iletici" şeklinde 3 grupta sınıflandırabiliriz. Strain, dış kuvvetlere maruz bir yapıda, gerilim ve strain altındadır. Gerilim direkt olarak ölçülemez fakat etkisi (yapıda şekil değişimi) ölçülen esas miktarda uzunlukta değişmeyi içerir. Gerilim ve strain arasındaki ilişki bilinirse, yapı içerisindeki gerilmeler strain bilgisiyle hesaplanabilir. Birleşik elektrik dirençli "straingauge" ler genellikle iyi bir performansa sahiptir. "Folye" ve "tel" formundaki metal direnç "strain gauge" lerden, "folye tipi"; ince levhalardan basılarak yapılırlar ve avantajları; istenen şekli hemen hemen alabilmeleridir. Çok iyi lineer çapraz duyarlılığa sahiptirler. Bu duyarlılık dikdörtgen olmalarındandır. Bu özelliğinden dolayı ısı, tel gauge'lerden daha kolay dağılır. Genellikle folye gauge'leri daha üstün kaliteli olmaları nedeni ile tel gauge'lerin yerini almaktadır. Tel ve folye gauge'lerden başka; "sarılı", "tek tek tel" ve "örme tip" gauge tipleri de vardır, ve bunlar daha az kullanılır.

Önemli bir konu da "strain duyarlılığı" veya "gauge faktörü" dür. Bir metal iletkenin elektrik direnci, metalin öz direnci ve uzunluğu ile doğru, kesitiyle ters orantılı olarak değişir. Atomlar arasındaki özel bağlantı formları–metalik bağlar ve düzenli atomik şekilli metalik kristal kafes formları metaldeki bütün atomlarla valans elektronların müşterek kullanımını kapsar. Bu sebeple akım, elektronların doğru hareketi şeklinde bir iletken boyunca geçer. Buna elektron akışı denir. Çekme straini altındaki bir gauge'nin azalan kesiti ve artan uzaması, metalik kafeste çarpılmaya izin vererek, direncin kısmen artışını sağlar. Fakat yalnız başına bu değişme dirençteki toplam değişikliği tamamen izah edemez. Bu yüzden, metal kafesindeki diğer değişimler, metalin öz direncinde değişme olarak ortaya konmalıdır. Bu etki önemlidir, çünkü metallerin öz direnci sıcaklıkla değişir. Bir strain gauge'nin "direnç değişimi" ölçülen strain ile lineer bir ilişkiye sokulmalıdır ve metalik strain gauge'ler bu şartı yerine getirirler. Bu ilgi ise "gauge faktörü" olarak bilinir ve "direnç değişimi" nin "strain" e oranıdır. Gauge faktörü üretici firmalar tarafından belirlenir. Genellikle tel ve folye gauge'lerin yaklaşık gauge faktörleri (2) olmasına karşılık gauge'nin uzunluğuna ve büyüklüğüne bağlı olarak (1.7)'den (4)'e kadar değişebilir. Gauge faktörünün artması duyarlılığı arttırmaktadır. Fakat metal gauge'lerde, öz direnci nisbeten düşük metallerdekinden daha büyükçe olmakla beraber sınırlıdır.

Sıcaklık değişimi, hysteresis sürünme, yorulma, nem ve rutubet strain'in doğruluğunu



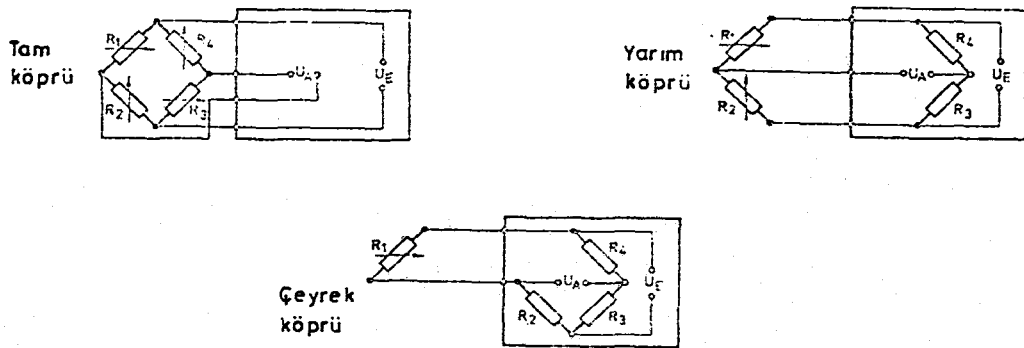
etkileyecektir. Strain gauge'lerde nominal direnç, 120, 350, 600 ve 700 Ohm şeklindedir. Gauge'nin direnç değişimi çok düşüktür ve bunun ölçümü ancak bir Wheatstone köprü devresi, duyarlı bir galvanometre ile birleştirilerek yapılabilir [81,82,83].

#### 5.2.4.5 Wheatstone Köprü Devresi

Yüksek duyarlıklı Wheatstone köprüsü strain gauge direncindeki değişimleri ortaya çıkarmak için kullanılır. Şekil 5.18 a'da devre şeması gösterilmiştir. Sistem bir galvanometre, 4 direnç ( $R_1, R_2, R_3, R_4$ ) ve bir akü (pil)'den meydana gelmiştir. ( $U_E$ ) besleme gerilimi, ( $U_A$ ) ölçme gerilimidir. dirençler eşit veya ( $R_1$ ):( $R_2$ )=( $R_4$ ):( $R_3$ ) olduğunda ( $U_A/U_E$ )=0 olur ve bu durumda köprü devresi dengededir. Eğer bu dört direnç, bir dış kuvvetin etkisiyle değişirse denge bozulur ve ölçme geriliminden bu değer ölçü aleti yardımıyla belirlenebilir.

Köprü devresindeki dirençlerin hepsi veya bir kısmı strain gauge olabilir. Çeşitli bağlantı şekillerine göre (Şekil 5.18 b'de), tam, yarım ve çeyrek köprü isimlerini alırlar. Burada: "Tam köprü", tüm dirençler parça üzerinde yapışık ve aktiftirler. "Yarım köprü", iki direnç aktif iki direnç ölçü aleti içinde pasif dirençtir. "Çeyrek köprü", bir direnç aktif olarak parça üzerine bağlanmış, üç direnç pasif olarak cihaz içinde mevcuttur.

Parça üzerine yapıştırılan strain gauge'ler mekanik zorlanmanın yanında ısıdan da etkileneceğinden, köprü devresinde "sıcaklık kompensasyonu (dengesi)" mutlaka sağlanmalıdır. Bunun için ikinci bir strain gauge aynı cins malzemeden yapılmış aynı sıcaklık ortamında bulunan fakat kuvvet uygulanmamış bir parça üzerine yapıştırılarak uygun şekilde bağlanır. Bunlara "Dummy gauge" adı verilir. Kullanılan strain gauge'lerin aynı değerlere sahip olması gerekir [83,84].



Şekil 5.18 Wheatstone köprü devreleri

#### 5.2.4.6 Strain İndikatör

Strain'i görebilmek için "strain indikatör" cihazı kullanılabilir. Bu cihaz, gauge faktörü belli bir gauge için ayarlanır. Yanlış aynı gauge faktörüne sahip gauge'ler kullanıldığı zaman strain indikatör doğru okuma yapar. Pek çok cihaz, bir dereceye kadar farklı gauge faktörüne sahip gauge'leri birarada tutan strain indikatörüne sahip değişebilir direnç içerir. Gerçek strain, eğer cihazın gauge faktör değeri ile kullanılan strain gauge'nin gauge faktör değerine oranı, gösterilen strain ile çarpılırsa, gerçek strain hesaplanabilir.

### 5.3 YAPI MALZEMELERİNİN BELİRLENMESİ

#### 5.3.1 Reçine Seçimi

"Literatür araştırması" ve Bölüm 4'de "reçineler" ve "reçineli betonlar" dan görüleceği gibi, genelde maliyet dezavantajına rağmen en iyi yapısal özelliğin "epoksi reçineli polimer beton" ile elde edilebileceği ifade edilmiştir. Bu nedenle deneysel çalışmamızda bağlayıcı olarak "epoksi reçine" seçilmiştir.

Seçilmiş olan epoksi reçine ve buna uygun sertleştirici (kemikleşme ajanı), endüstriyel kimyasalların üretimini yapan "Schering Aktiengesellschaft" (Almanya) firması ürünüdür. Firmanın ürettiği epoksi reçinelerin genel kullanıma yönelik olan; (Bölüm 4'de "epoksi reçine" için verilmiş uygulama alanları gibi) endüstriyel çalışmalarda kullanılabileceği, "epoksi harçlar ve epoksi beton" şeklinde verilmiş uygulamaların ise genelde yapı endüstrisindeki (mineral ve epoksi esaslı bir bileşim şeklinde) çalışmalar olarak verilmiştir. Epoksi esaslı bu malzemelere genelde "sentetik reçineli harçlar" veya "polimerik harçlar" da denilebileceği belirtilerek, bunların yüksek mekanik dayanımlı kimyasal dirençli, değişik sertleşme sürelerine sahip, konvansiyonel yapı malzemeleriyle birlikte mükemmel dayanımlı bileşimler oluşturdukları açıklanmıştır. Yapı endüstrisi için "epoksi harçlar" oluşumunda dolgu malzemesi tane büyüklüğünün 4 mm'den küçük ve "dolgu malzemeli epoksi beton" da ise tane büyüklüğünün 4mm'nin üzerinde olacağı da belirtilmiştir. Herbir uygulama alanına yönelik farklı, birçok "epoksi reçine ve sertleştirici"nin geliştirilmiş olduğunu da görmekteyiz [50,51,52].

##### 5.3.1.1 Epoksi Reçine ve Sertleştirici

Firma ürünlerinden, "epoksi harçlar" ve "epoksi beton" uygulamaları için, farklı kimyasal terkiplerde birçok reçine ve sertleştirici önerilmiştir.

Tablo 5.1'de Farklı bağlayıcı harçların mekanik dayanımları verilmiştir [52]. Burada basma ve eğilme mukavemeti testleri için numuneler DIN 1164 standardına göre ve harç bileşimi ise; %14.3 bağlayıcı ve % 85.7 dolgu malzemesi (1 parti 0–0.2 mm ve 1 parti 0.6–1.2 mm kuvarz kum) kullanılarak hazırlanmıştır.

Tablo 5.1'de, firma tarafından "epoksi reçine", "EUROPOX ... ." ismiyle, isim yanında iki veya üç rakamlı bir sayı ve yanında her zaman olmamakla birlikte bazı tiplerde S veya W harfi yer alır. Sertleştiriciler içinde, "EURODUR ... ." ismi, yanında üç rakamlı sayı ve bir harf olabilir. Ayrıca reçine veya sertleştiricilerin her ikisi içinde, "Europox" veya "Eurodur" ifadesi yerine "XE ... ." ile, yanında üç haneli bir sayı ve bir harf yer alabilir. Burada "S" ürünün geliştirilmekte olduğunu, "W" ürünün suda çözüldüğünü ve "XE" ise geliştirilmiş ürünü ifade etmektedir. Buradaki açıklamalar tamamen "epoksi harç" veya "epoksi beton" uygulamalarında kullanılacak "solventsiz" reçine ve sertleştiriciler için geçerlidir. Farklı uygulamalarda gösterimlerde farklılık olabilir.

Tablodan, maksimum basma ve eğilme mukavemet değerlerini veren reçine–sertleştirici–dolgu malzemesi bileşimi, Europox 730–Eurodur 305 şeklinde alınabilir. Farklı bir boyut için aynı bileşimlerle aynı şartlarda yapılacak test ile de maksimum bası ve eğilme mukavemet değerlerinin elde edilebileceğini düşünmek yanlış olmayacaktır.

Tablo 5.2'de ise farklı bağlayıcı epoksi harçların pota ömürleri verilmiştir [52]. Burada "TECAM" jelleşme zamanı olarak, dolgunsuz uygulamada (250 g. ve 23°C'da) ve dolgu malzemeli uygulamada; 1 parti bağlayıcı %14.3 ve 6 parti %85.7 (3 parti 0–0.2 mm ve 3 parti 0.6–1.2 mm) kuvarz kullanılarak belirlenmiştir. Tablo'dan, belirlenmiş bileşim dolgunsuz 122 dakika ve dolgu malzemeli 80 dakika gibi değerler vermiştir.

Sertleştirici için; Eurodur 305 ile aynı yapıda olan ve "geliştirilmiş ürün" olarak verilen "XE 305 S" için, dolgu malzemeli ve dolgunsuz halde EP 730 karışımı halinde pota ömrü 30 dakika olarak verilmiştir. Dolayısıyla bu sertleşme süresini kısaltıp numunelerin daha hızlı hazırlanıp test edilebilmelerini de sağlayacağından, sertleştirici olarak "XE 305 S" in alınmasına karar verildi.

Sertleştiriciler için, "epoksi harçlar" ve "epoksi beton" uygulamalarında üç gruplu bir sınıflandırma yapılmıştır. Birincisi; bağlayıcı ve dolgu malzemesinden oluşmuş epoksi harç veya beton sistemlerinde üstün bir hızlandırıcı olarak kullanılabilecek, yüksek tepkime oluşturabilen, fakat nem'e hassas, "modifiye edilmiş poliaminoamin" yapı olarak verilmiştir. İkincisi; monomerik yağ asitli kemikleşme ajanlarından daha yüksek viskoziteli, dimerik yağ asidi esaslı "poliaminoamidazolin" yapı, ısı altında yüksek boyut

kararlılığı ve kimyasal dayanım, dolgulu bileşimler ve yapıştırıcı formülasyonlarına uyumlu şeklinde verilmiştir. Üçüncüsü ise; en uygun epoksi harç veya beton yapı oluşumunu verecek sertleşme ajanı olarak, düşük viskoziteli, monomerik yağ asidi esaslı "poliaminoamid/imidazoline" yapı, farklı tepkimeler oluşturabilen, diğer gruplarda olduğu gibi benzer mekanik ve kimyasal özellikler verebileceği belirtilmiştir.

Tablo 5.1 Farklı bağlayıcı harçların mekanik dayanımları

Kemikleşme ajanı	EUROPOX 730				EUROPOX 783			
	Eğilme muk.		Basma muk.		Eğilme muk.		Basma muk.	
	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
EURODUR 10	--	39	--	110	--	--	--	--
EURODUR 16	--	--	--	--	33	31	119	125
EURODUR 26	38	--	102	--	38	--	104	--
EURODUR 27	37	39	108	109	--	--	--	--
EURODUR 40	31	33	87	80	--	--	--	--
EURODUR 42	32	33	79	86	30	31	74	76
EURODUR 43	34	33	84	83	--	31	--	78
EURODUR 43 S	36	35	85	94	36	34	85	94
EURODUR 16/ EURODUR 43=50/50	--	--	--	--	31	31	100	104
EURODUR 16/ EURODUR 43=33/67	--	--	--	--	29	27	93	99
EURODUR 44	30	29	95	99	27	26	79	85
EURODUR 44 S	34	34	99	96	32	31	88	92
EURODUR 48	--	--	--	--	36	36	82	98
EURODUR 81/81 S	37	37	83	88	--	--	--	--
EURODUR 81	35	38	100	106	31	38	94	110
EURODUR 200	37	--	104	--	--	--	--	--
EURODUR 250	31	31	84	87	30	--	67	--
EURODUR 305	35	37	130	135	--	--	--	--
EURODUR 350	36	38	105	113	--	--	--	--
EURODUR 370	34	33	90	108	29	38	77	112
EURODUR 460	35	34	90	97	29	40	65	72
EURODUR 140	33	35	89	96	--	--	--	--
EURODUR 145	40	40	106	118	32	38	101	112
XE 222	40	40	97	99	36	39	50	68

Açıklamalara göre en iyi "epoksi polimer beton" yapısı, üçüncü grupta verilmiş bir sertleştirici ile mümkün olabileceğinden ki burada verilmiş olan sertleştiricilerden biriside



"XE 305 S" dir. Bu sertleştirici, Tablo 5.1 ve Tablo 5.2'nin incelenmesi sonucu maksimum mukavemet ve 30 dakikalık uygun görülen bir pota ömrü veren sertleştirici olduğunda görülmektedir. Ayrıca "Europox 730" un, "epoksi harçlar" veya "epoksi beton" uygulamaları için en uygun reçine olduğunda belirtilmiştir.

Önemli diğer bir konuda, reçine ve sertleştiricinin karışım oranlarıdır. Bölüm 2'den görüleceği gibi araştırmacılar bu konuyla ilgili birçok çalışma yapmışlardır. Burada

Tablo 5.2 Farklı bağlayıcılı epoksi harçların pota ömürleri

Sertleştirici	Reaktivite "TECAM" (Dolgusuz, dak.)		Pota Ömrü (%14.3 Bağlayıcı, dak.)	
	EUROPOX 730	EUROPOX 783/784	EUROPOX 730	EUROPOX 783/784
EURODUR 10	12	14	10	10
EURODUR 11	14	17	10	10
EURODUR 14	17	20	10	10
EURODUR 16	15	18	10	10
EURODUR 26	40	53	45	60
EURODUR 27	54	65	75	85
EURODUR 43	45	63	30	60
EURODUR 43 S	22	26	25	30
EURODUR 44	40	55	45	60
EURODUR 44 S	20	25	25	35
EURODUR 48	39	79	45	90
EURODUR 70	510	610	--	--
EURODUR 75	48	58	45	60
EURODUR 81	437	--	--	--
EURODUR 81 S	43	51	30	45
EURODUR 200	38	44	30	40
EURODUR 223	604	1319	200	330
EURODUR 250	65	81	80	110
EURODUR 305	122	211	80	95
EURODUR 350	320	750	120	200
EURODUR 370	70	105	80	100
EURODUR 460	103	217	30	60
EURODUR 140	100	165	30	60
EURODUR 145	121	170	60	80
Geliştirilmiş ürün;				
XE 222	139	250	90	120
XE 305 S	30	35	30	45

belirtilen her bir uygulama alanında en uygun yapı oluşumu için karışım oranları firma tarafından belirlenmiştir. Dolayısıyla her 100 g."Europox 730" reçineye 50 g."XE 305 S" sertleşme ajanı kullanılacaktır. Farklı reçine-sertleştirici-dolgu malzemesi veya farklı uygulamalarda karışım oranları değişik olacağından, buna dikkat edilmelidir.

Epoksi reçine ve sertleştirici seçiminden sonra yapıda, hızlandırıcı, değişik kemikleşme ajanlarından oluşan bir birleşim, süre uzatıcılar, yapışma (bağlılık) yükseltici, boya maddeleri ve değişik yapıdaki dolgular kullanılabilir.

Hızlandırıcılar, oluşturulan malzemenin dökümünde verilmiş olan jelleşme zamanının sürelerini azaltmaktadır. Bu süre içerisinde mümkün olan en kısa zamanda döküm işleminin tamamlanması gerekir. Aksi halde belirtilen sürede döküm tamamlanamazsa malzeme kullanılamaz hale gelecektir. Dolayısıyla jelleşme zamanından önce tüm döküm işleminin bitirilebilmesi için bu sürenin numune sayısına bağlı olarak hazırlanacak olan harç miktarına ve ortam şartlarına göre belirlenmesinde yarar vardır. Seçtiğimiz malzemelere göre ise 30 dakika olan sürenin yukarıdaki açıklamalar doğrultusunda yeterli olacağı kabul edilerek, çalışmada ayrıca hızlandırıcıya gerek duyulmamıştır.

Farklı kemikleşme ajanları karışımları, süre uzatıcı malzemeler, yapışma (bağlılık) yükselticiler, boya maddeleri ve değişik yapıdaki dolgu malzemelerinin kullanılması ise çalışma alanını genişleteceğinden, mevcut çalışmanın ötesinde, daha kapsamlı araştırmalar için geçerli olabileceği düşünülerek yine çalışmaya dahil edilmemiştir.

Tablo 5.3 Epoksi reçinenin özellikleri

Epoksi reçine	Özellikler
İsmi / Gösterim	Europox 730 / EP 730
Karakteristiği	Orta viskoziteli
Viskozite (mpa.s/25°C)	7.000 -10.000
Epoksi değeri (DIN 53188)	0.53 - 0.55
Epoksi denk ağırlık	182 -189
Renk numarası (Gardner)	≤ 3
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> , 20°C, DIN 51757)	1.16
Parlama noktası (°C, DIN 51758)	180
Firma	Schering / ALMANYA

Tablo 5.4 Kemikleşme ajanının özellikleri

Kemikleşme ajanı	Özellikleri
İsmi/Gösterim	XE 305S
Karakteristiği	Formüle edilmiş "poliaminoamid"
Viskozite (mpa.s/25°C)	2.500
Amin değeri (DIN 16945)	400
Renk numarası (Gardner)	15
Katı içeriği (%)	100
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> , 20°C DIN 51757)	1.00
Parlama noktası (°C, DIN 51758)	118
Averajı, Aktif H karşılığı ağırlığı	95
Karışım oranı (Eoropox 730 ile, % )	50
Firma	Schering /ALMANYA

Seçilmiş malzemelerin özellikleri ise; Burada, soğuk sertleşen (kemikleşen) (EP) reçineler, harçlar ve betonları, solventsiz boyalar ve kaplamalar (astar) için gerekli malzemeler olarak tanımlanmıştır. Epoksi reçine, Bölüm 4'de "epoksi reçineler" de verildiği gibi "epiklorhidrin" ve "bisfenol-A" nın kondenzasyonu ile elde edilmiştir. Sıvı reçineler olup reaktif epoksi gruplarına sahiptir. Yüzey kaplama ve koruma için yapı solventsiz "epoksi reçine" ve "aminler" in önemli reaksiyonlarıyla oluşur. "Amin kemikleşme ajanları" da farklı şekillerde sınıflandırılabilir. "Aminler" in modifikasyonu ile de, birçok farklı yapıda "kemikleşme ajanı" elde etmek mümkün olmaktadır.

Epoksi reçinenin değerleri ASTM D 1652-67' ye uygundur (Tablo 5.3). Kemikleşme ajanı için amin değerlerinin belirlenmesi ise DIN 16945-Bölüm 1' e uygundur (Tablo 5.4) [52].

### 5.3.2 Dolgu Malzemesi Seçimi

"Literatür araştırması" ve Bölüm 4'de "epoksi reçineli betonlar" da, genelde epoksi reçine ile birlikte kullanılacak dolgu malzemeleri için "kuvars" ve türleri önerilmiştir. Uygulama alanlarının durumuna göre de malzeme değişik tane büyüklüklerinde, öğütülmüş olarak alınmaktadır. Dolayısıyla çalışmada değişik tane boyutlarında (maksimum 10 mm) olan kuvars öğütülmüş halde Ak-İş Madencilik/Nazilli' den temin edilmiştir.

### 5.3.2.1 Kuvarz

Magma denilen kızgın silikat hamurunun, derinde, yüzeye yakın veya yüzeyde soğuyarak katılaşması sonucu oluşan kayalara magmatik kayalar denir. Magmatik kayaların meydana gelmesinde rol oynayan minerallerin başında gelen "kuvarz" silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ ) veya silis olarak da adlandırılan yüksek saflıktaki silikadır (%99.95). Litosferin (yer kabuğu) bileşiminin %60'ı silis olduğuna göre kuvarz'ın önemi kolayca anlaşılmaktadır. Bu sonuçlar dünyanın her tarafından gelen 1500 taş numunenin bilim adamları tarafından yapılan analizlerinden elde edilmiştir.

Kuvarz, hegzagonal sistemde kristallenir ve başlıca şekli iki ucunda birer piramit bulunan altı köşeli bir prizma veya hegzagonal çift piramittir. Kuvarz çoğunlukla saydam ve renksizdir, fakat mor, dumanlı gibi renkleri vardır. Magmatik kayalar içinde küçük kuvarz taneleri kaya tuzu veya cam gibi donuk, gri renkli, yağlı görünümlüdür. Sertlik (7) olduğundan çakı veya iğne ile çizilmez. Dilinim yoktur, kırık yerleri düzensizdir. Özgül ağırlık 2.5–2.8  $\text{g/cm}^3$ 'dür, cam çizer. Mükemmel dielektrik özelliklere sahiptir ve 1600°C sıcaklığa kadar ısı kararlı olup, yüksek sıcaklık dayanımı gerektiren yerlerde kullanılır.

Kristal sistemine göre kuvarz'ın bir optik ekseni vardır, bu da kristal eksenidir. Magmatik kayalarda bütün silikatlar katılaştıktan sonra kalan fazla silis, son safhadan uçucu minerallerle beraber kuvarz halinde kristallenir. Fakat meydana geldikten sonra elemanların en sabiti olur ve atmosfer etkilerine karşı koyan tek eleman kuvarz'dır ayrışmaz. Örneğin büyük bir granit masifi erozyon ile parçalanır, yağmur sularının etkisi ile içindeki feldispatlar ve diğer elemanlar ayrılarak killi çökeller haline geldiği halde kuvarz, kum taneleri şeklinde, hiç değişmeden kalır. Kuvarz yalnız florür asitte erir.

Kuvarz'ın kristal sistemi "hegzagonal": optik kristal sistemi  $a_1=a_2=a_3=c$  ve  $a$  yatay ,  $c$  dik: simetri düzlemi 7: simetri ekseni 1,6 :simetri merkezi 1 şeklindedir [42,91,92].

### 5.3.3 Kalıp Ayırıcı Seçimi

Bölüm 3'de "katkı malzemeleri" ve Bölüm 4'de "kalıplar" da, kalıp ayırıcılar için verilmiş malzemelerden, farklı birçok firmanın sprey veya sıvı halde, ahşap, metal, plastik, karton v.b. birçok yüzey için önerdikleri ürünler mevcuttur. Bunların içerisinde kalıplara uygulanarak test edilip, uygun olduğuna karar verilen, "Poliya" firmasının iki ürünüdür. Bunlardan biri, çözültü haldeki sıvı "PVA (poli vinil alkol) kalıp ayırıcı" dır. Çok gözenekli veya ilk kez kullanılacak kalıplarda daha kalın film veren sıvı kalıp ayırıcı kullanılır. Uygulama, bir sünger yardımıyla tüm kalıp yüzeyine akıtmadan sürülür. Kuruması için

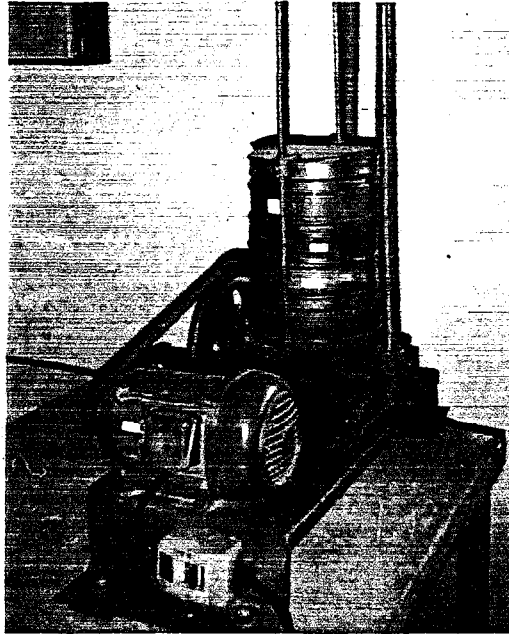


15-20 dak. beklenir. İyice kuruduğu anlaşılınca döküm uygulamasına geçilir. Yanıcı alkoller içerdiğinden çalışılan yer havalandırılmalıdır. Yine "poliya" firmasının ürünü olan diğer kalıp ayırıcı ise; "Polivaks SV-6" dır. Bu ürün, çalışılmakta olan kalıplarda, flanşlar dahil tüm kalıp yüzeyine, dairesel hareketlerle ince bir film elde edilecek şekilde vaks sürülür ve hemen temiz kuru bir penye bezle silinip parlatılır. Parlatılmış kalıp 15 dak. beklendikten sonra döküm veya "jelkot" uygulamasına hazırdır. Yeni kalıp ve modellerde ise; yukarıda anlatılan işlem kalıbın risk durumuna göre en az 3-6 kez uygulanır. Son uygulamada en az 30 dak. beklendikten sonra, parlatılır. Kalıp veya model kullanıma hazırdır. Yukarıda verilen her iki kalıp ayırıcıda rahatlıkla kullanılabilir. Fakat "Polivaks SV-6" uygulamalarda daha iyi sonuçlar vermiştir. Dolayısıyla çalışmada kalıp ayırıcı olarak öncelikle "Polivaks SV-6" kullanıldı. Ayrıca, kolay bulunabilen dar, küçük yüzeylerde pratik ve çok iyi bir kalıp ayırıcı olan PVA bantlardan temin edilmiştir.

## 5.4 DENEY NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI

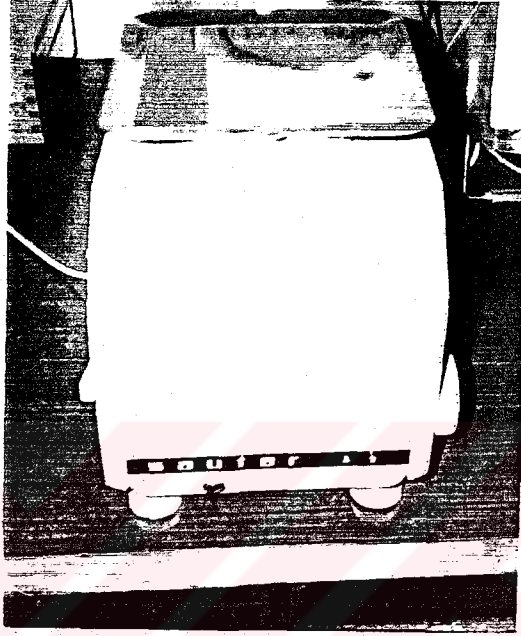
### 5.4.1 Numune Hazırlamada Gerekli Cihaz ve Ekipmanlar

Bölüm 5.3.2'de, öğütülmüş halde farklı tane büyüklüklerinde alınmış olan agreganın yapılacak çalışmada, belirlenecek her bir standart tane büyüklüğünde hazırlanabilmesi için gerekli olan "TS 1226" ve "TS 1227" ye uygun "deney elekleri" takımı kullanılarak "TS 130" a uygun elek analizi ile agreganın istenilen tane büyüklüklerine ayrılabilmesi için gerekli olan "elek sarsma makinası" Şekil 5.19'da verilmiştir.



Şekil 5.19 Elekler ve elek sarsma makinası

Her türlü (reçine, sertleştirici, dolgu malzemesi ve numune v.b.) malzemenin tartım işlemlerinde kullanılacak "tartı" Şekil 5.20 ve Tablo 5.5'de verilmiştir.

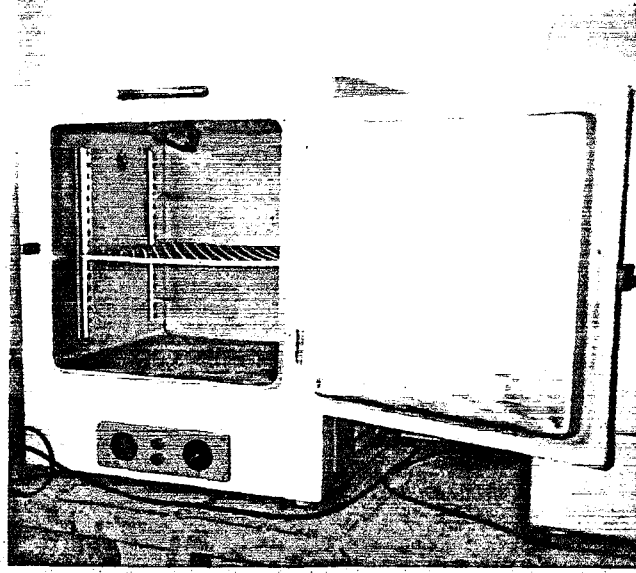


Şekil 5.20 Tartı aleti

Tablo 5.5 Tartı aleti özellikleri

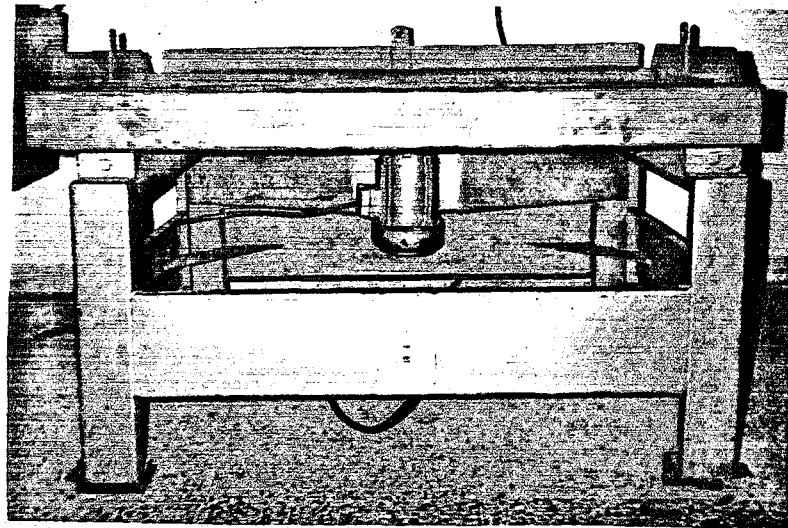
Kullanılan cihazın	Özellikleri
Marka	Sauter
Tip	S 2000
Maksimum ağırlık	2000 gr
Ölçüm hassasiyeti	1 gr
Firma	Sauter / ALMANYA

Elek analizi deneyi için agregalardan veya numunelerden nem'in alınabilmesi ve kurutma için "TS 130" a uygun maksimum 250°C, "etüv" Şekil 5.21 ile verilmiştir.



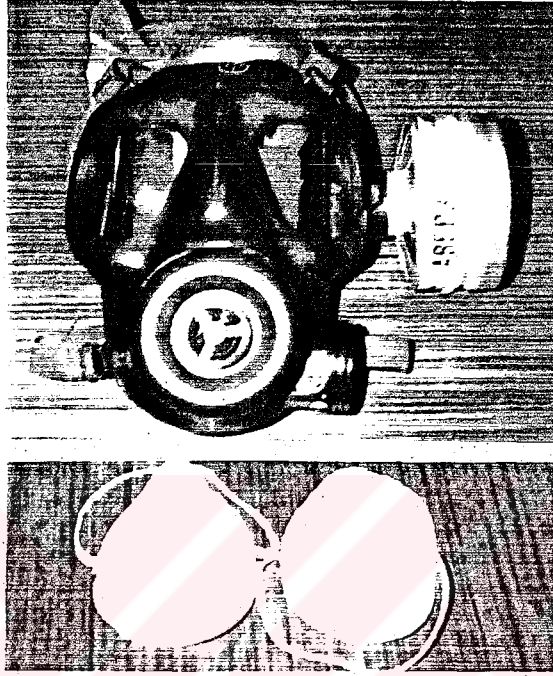
Şekil 5.21 Etüv

Bölüm 4'de polimer beton malzeme için uygun yapı oluşumunda, döküm esnasında uygulanması gereken titreşimlerinde önemli olduğu ifade edilmiştir. Bu sayede hava kabarcıklarının çıkışıyla boşluksuz bir yapı oluşturulması sayesinde daha dayanımlı ürünler elde etmek mümkün olacağından, numunelere "vibrasyon" uygulanması mutlaka gereklidir. Verilmiş olan vibratör tiplerinden (belirlenmiş numune kalıplarının boyutları nedeniyle) "masa tipi vibratör" amacımıza uygundur. Çünkü, içerisinde harç malzeme bulunan birçok küçük kalıbın, "masa tipi vibratör" tablası üzerine rijit bir şekilde kolayca tespit edilerek, aynı anda titreşime tabi tutulmaları mümkündür. Şekil 5.22'de çalışmada kullanılan "masa tipi vibratör" cihazı görülmektedir.



Şekil 5.22 Masa tipi vibratör cihazı

Özellikle sertleştiricinin, reçinenin ve karışım sağlandıktan sonra ortaya çıkacak zararlı gazların etkisinden korunabilmek için, mevcut oluşabilecek gazlara uygun filtresi ile birlikte "gaz maskesi" Şekil 5.23 ve Tablo 5.6 ile verilmiştir.



Şekil 5.23 Gaz maskesi ve toz maskeleri

Elek sarsma makinası veya agrega ile ilgili tüm işlemlerde kullanılmak üzere "toz maskeleri" (Tablo 5.7). Bunlar ağız ve burnu örterek zararlı buhar ve gazlar dışında solunum yollarını olumsuz yönde etkileyici her çeşit tozlu ortamlarda kullanılır.

Tablo 5.6 Gaz maskesi özellikleri

Kullanılan Ürün	Özellikleri
İsim	Gaz maskesi
Tip	SR6M
Kullanılan filtre	ABE-P3 kombine süzgeç
Etkili olduğu maddeler	organik gaz, solvent, asit gazlar halojenler, sülfürik asit, klorik asit, arsenik asit, fosforik asit, kükürt dioksit, toz ve duman
Firma	MKE / Elsa A.Ş.

Tablo 5.7 Toz maskesi özellikleri

Kullanılan ürün	Özellikleri
İsim	Toz maskesi
Tip	Tip-1
Yapı	Sentetik elyaf (insan sağlığına zarar vermez)
Etkili olduğu maddeler	tütün, un, kağıt, çimento, cam, kireç, kükürt, alçı, cevher toprak, yün v.b. Minumum 3 $\mu$ kadar olan zerrecikler.
Firma	MKE / Elsa A.Ş.

Yukarıda ifade edilen cihaz ve ekipmanların yanında, elek analizi için gerekli değişik ebatlardaki saç "toplama kapları", "tel fırça", "kürek" v.b. ekipmanlar. Dökümde özellikle reçine ve sertleştirici nin tartım işlemleri için gerekli olan, plastik "ölçü kapları". Harç oluşumunda, bileşimin çok iyi karıştırılabilmesi için gerekli olan, plastik "harç karma tekneleri" ile karıştırmayı yapabileceğimiz "mala" ve "spatula". Karışım anında tüm malzemeler temelde insan sağlığına zararlı olduğundan, bunların ele ve vücudun değişik yerlerine bulaşmamasına dikkat edilerek, plastik eldivenler ve çalışma elbiseleri gibi ilk etapta bahsedilebilecek yardımcı ekipmanlar olarak sıralanabilir.

Bu genel yaklaşım sonrası, çalışmanın diğer safhalarında gerekebilecek cihaz ve ekipmanlar, ilgili bölümlerde verilecektir.

#### 5.4.2 Dolgu Malzemeleri

##### 5.4.2.1 Dolgu Malzemesi Tane Büyüklüğünün Belirlenmesi

Kuvars, belirtilen firmadan 0-1;1-3;3-5;5-8;8-12 mm boyutlarında öğütülmüş halde alınmıştır. Tane büyüklükleri ile ilgili dağılım için iki yönde hareket etmek mümkündür.

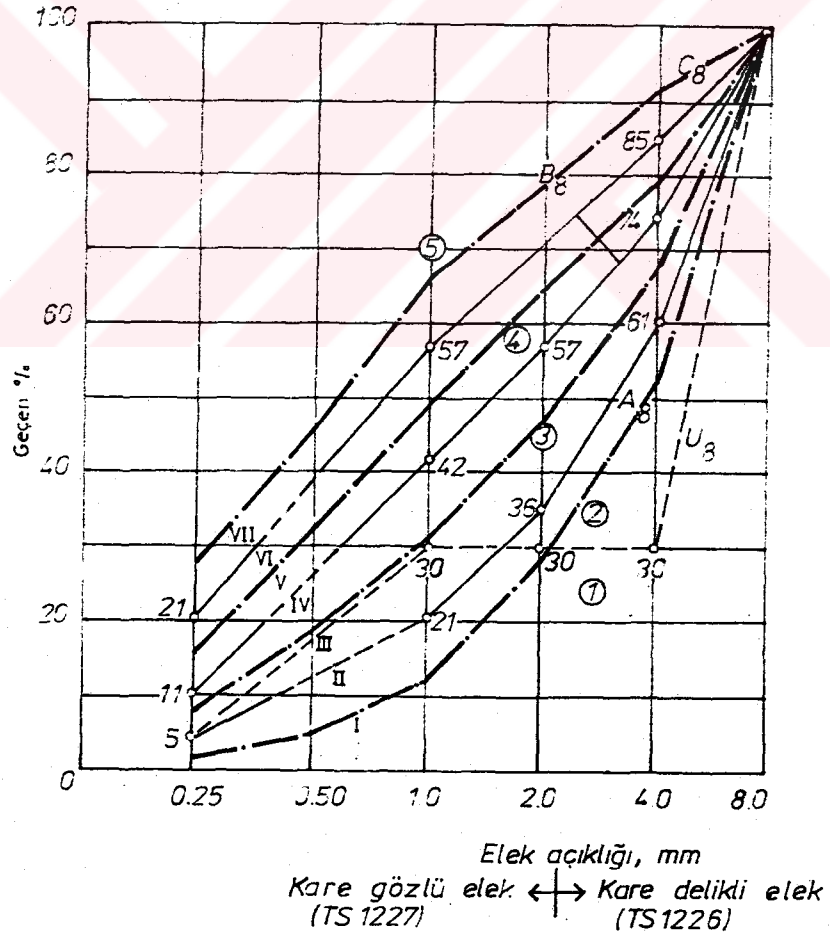
Birincisi; "feret üçgeni" adı ile bilinen ve malzemenin dağılımını üç gruba ayırarak, "ince" "orta" ve "kaba" şeklinde sınıflandıran yöntemdir. Burada malzemenin tane büyüklüğü arttıkça değerlendirme daha da kabaca, dar bir alanda yapılmış olacaktır.

İkincisi; "Agregaların Tane Büyüklüğü Dağılımının Tayini" (Granülometrik Birleşim Tayini) adını verdiğimiz, agregaları standartlarda belirtilen eleklerle, ilgili tane büyüklüğüne kadar olan, dolgu malzemesini karışık agregada dışındaki tane sınıflarının granülometrik bileşimi

ile karışık agregada dahil olmak üzere bütün tane sınıflarının üst ve alt taneler miktarları hacim yüzdesi olarak, maksimum tane büyüklüğünün durumuna göre ifade etmiştir.

Buradan, değişik tane büyüklüklerinin daha dar aralıklarda sınıflandırılarak dahada geniş bir alanda değerlendirme yapma imkanı vereceğinden "Granülometri Eğrileri" tane büyüklüğü dağılımı için seçildi.

Polimer beton ile yapılmış çalışmalar incelendiğinde, değişik uygulamalar için farklı maksimum agregata tane büyüklükleri kullanıldığı görülür. Bunlar için 16 mm, 8 mm, 4 mm ve 2 mm gibi tane büyüklükleri alınmıştır. Yine yapılmış diğer bir çalışmada 6 mm olarak alınmıştır. Buradan hareketle numune boyutlarını daha fazla büyütmemek ve ortalama bir değerlendirme için 8 mm çalışmada maksimum tane büyüklüğü olarak alınmıştır.



Şekil 5.24 Maksimum tane büyüklüğü 8.0 mm olduğuna göre karışık agregata granülometri eğrileri.

Dolayısıyla "Granülometri eğrileri" ve "8 mm" maksimum agrega tane büyüklüğü seçilmesi ile "TS 706" (beton agregaları)'ya göre Şekil 5.24'deki Maksimum tane büyüklüğü 8.0 mm olan granülometri eğrileri, tane büyüklüğü dağılımı için de esas alındı.

#### 5.4.2.2 Dolgu Malzemesi Elek Analizi

Yukarıda ifade edildiği gibi agregalar belirlenmiş olan tane boyutlarında değildir. Belirlenen boyutlarda verilmiş olsalar dahi standart elekler ile deneyin yapılacağı tane büyüklüklerinin ilgili elek analizi standardına göre deneyden önce analizinin yapılarak agregaların hazırlanmaları gerekir.

Bu amaçla "TS 706" daki tane büyüklükleri için "TS 1226" ve "TS 1227" ye uygun "Tel kafesli kare göz açıklıklı" 0.25, 0.50, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0 mm tane büyüklüklerindeki elekler, eleme sırasında ayrılacak tek tane sınıfı agregayı alabilecek büyüklükte olan toplama kabı ve kapaktan oluşmuş bir elek takımı ile elek sarsma makinası, tel fırça ve tavalar kullanılarak, agregalar gerekli tane büyüklüklerinde belirlendiler.

Şekil 5.24'de görüldüğü üzere granülometri eğrileri üzerinde işaretli 7 adet bileşim grubu tespit edildi. Bu her bir bileşimin "Elekten alta geçen % miktarları" belirlendi. Bunlar Tablo 5.8 ile verilmiştir.

Tablo 5.8 Deneysel çalışmada kullanılmak üzere seçilmiş olan 7 grubun "elekten alta geçen % miktarları"

Elek Numarası (mm)	Grup Numarası						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
8	100	100	100	100	100	100	100
4	52	61	67.5	74	79.5	85	92
2	28	36	46.5	54	64.5	72	79
1	12	21	31.5	42	49.5	57	66
0.5	5	12	19	26	32.5	39	46
0.25	2	5	8	11	16	21	28

Yapılmış olan bu seçim ile; bası, eğilme, yorulma ve sönüm deneyleri için, dolgu

malzemeleriyle ilgili deneylerde kullanılacak olan oranlar, "Granülometri eğrisi" üzerinde mümkün olduğunca, granülometrik dağılımı ifade edebileceği düşünülen, geniş bir alandaki dağılımlar olarak belirlenmesine çalışılmıştır. Ve deneyde de tabloda belirtilen değerler alınacaktır. Dolayısıyla belirlenmiş 7 gruptaki her bir dolgu malzemesi karışımı bu karışımlara ilave edilecek olan bağlayıcı malzemelerin değişik oranlarının alınmasıyla oluşturulacak, birbirlerinden farklı harç sistemlerinin, bu oranların değişimleri karşısındaki davranışını da incelemek mümkün olabilecektir.

#### 5.4.3 Deney Numunelerinin Boyutlarının Belirlenmesi

Polimer beton malzemenin deneyleri için; DIN 51290-Bölüm 3 ile "Makina Yapımında Polimer Betonun Deneyleri" (Deney numunelerinin imalatı, münferit deneyleri) isimli standart ile verilen numune boyutları, Tablo 5.9 ve Tablo 5.10'da verilmiştir.

Tablo 5.9 Dolgu malzemelerinin maksimum büyüklükleriyle bağımlı deney numune boyutları

Deney numune no	Dolgulu (maksimum çap veya yükdeklik) deney numune ölçüleri		
	8 mm'ye kadar	8 mm'nin üzeri ve 16 mm'ye	16 mm'nin üzeri ve 32 mm'ye
1	40x40x160	80x80x240	150x150x450
2	φ60x120	φ60x120	φ100x200
3	40x40x1100	80x80x1100	150x150x1100
4	Küçük omuzlu numune		
5	100x100x100	100x100x100	150x150x150
6	40x40x160	80x80x400	150x150x700

Burada, Tablo 5.9'da verilmiş olan deney numunelerinden farklı çok küçük deney numuneleride kullanılabilir. Bu halde standart, (taneli dolgu malzemesi kullanılması durumunda) deney numunelerinin en küçük ölçüleri olarak, kullanılan dolgu malzemesinin en büyük tane çapının 3 katından, ve (granüle olmayan tanesiz dolgu malzemesi olması durumunda) ise en büyük uzunluğun 3 katının, altında olmasına izin verilmez şeklinde minimum numune boyutları veya alt sınır olarak değerler verilmiştir.



Tablo 5.10 Test için uygun deney numune boyutlarının seçimi

Deney	Tablo 5.9'da deney numune no
Basma mukavemeti	1 2 5
Eğilme çekme mukavemeti	6
Yorulma mukavemeti	
Tek eksenli	
-Çekme-Basma zorlaması	1 2 4
-Eğilme zorlaması	6
Malzeme sönümü	3

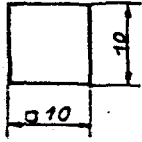
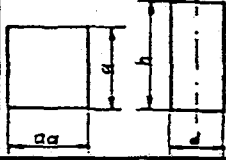
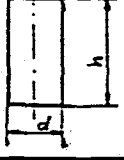
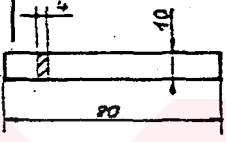
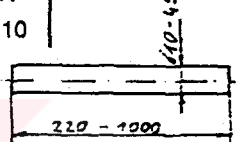
Yine tablolardan izlenebileceği gibi eğilme için verilen numune boyutları, eğilme yorulması ve eğilme deneyi için 40x40x160, sönüm için ise 40x40x1100 mm gibi değerler, bası için 40x40x160,  $\phi 60 \times 120$  ve 100x100x100 boyutları verilmiştir.

Kullanılan epoksi reçinenin bulunabilme kolaylığına rağmen, poliester reçine ile kıyaslanamayacak kadar fiat farkı vardır ve ithal edilmekte olup dövize bağımlıdır. Standartlara uygun, reçine ve sertleştirici malzemenin fiatıda dikkate alınarak ve çok fazla sayıda numune dökülüp test edilebilmesi için; boyutlar alt limitlerde alınmıştır. Buradan hareketle basma, dönen eğilme gerilmeli yorulma, eğilme gerilmesi ve sönüm numuneleri aşağıdaki şekilde belirlenmiştir:

#### 5.4.3.1 Basma Deney Numuneleri

Basma deneyi için Tablo 5.11'den görülebileceği gibi DIN 53454 ile plastikler, DIN 1048 ile beton ve DIN 50106 ile dökme demir olarak verilmiştir. Polimer beton uygulamaları için ise yukarıdaki gibi, DIN 51290-Bölüm 3 ile verilmiştir. Burada tane büyüklüğü 8 mm için maksimum ölçüler (çap ve uzunluk)  $\phi 60 \times 120$  şeklinde silindirik numune için verilmiştir. Yine aynı standart için yukarıdaki açıklama doğrultusunda, deney numunelerinin en küçük kesit boyutu için en büyük dolgu malzemesi tane çapının 3 katından az olamaz ifadesine görede 8 mm tane büyüklüğü ile minimum 24 mm çap değeri belirlenebilir. Bölüm 5.2.1'de "Basma deneyinin diğer bir avantajı da çok küçük numunelerde bile kullanılabilmesidir. Bu avantaj, özellikle çok pahalı malzemelerle çalışıldığında veya çok az malzeme bulunduğu durumlarda çok faydalıdır" şeklinde ifade edilmiştir. Ayrıca TS 3068'e göre "Silindir şeklindeki numunelerin çapları ile diğer şekillerdeki numunelerin en küçük kesit boyutları betondaki en büyük agrega tane büyüklüğünün en az dört katı olmalıdır" açıklamasına göre dolgu malzeme maksimum tane büyüklüğü 8 mm olduğundan numunemizin çapı 32 mm'den büyük olması

Tablo 5.11 Farklı malzemeler için basma deney numuneleri

Deney	Plastik		Beton		Dökme demir	
	Norm	Numune ölçüleri	Norm	Numune ölçüleri	Norm	Numune ölçüleri
Basma	DIN 53454		DIN 1048	a=100-300 d=100-300 h=2.d 	DIN 50106	d=10-30 h=2.d 
Eğilme	DIN 53452		---	Not: Eğilme-çıkma'de DIN 1048. 150x150x700	DIN 50110	
Yorulma	DIN 53442	---	---	---	DIN 50100	→ Çekme → Eğilme

gerekmektedir. Dolayısıyla bu boyutu, yine "TS 3068"e göre; "Silindir şeklindeki deney numuneleri için; kesit çapları 5 cm'den yükseklikleri ise 10 cm'den daha küçük olmamalıdır" ifadeside verilmiştir.

Bu durumda, çap 50 mm, uzunluk ise 100 mm olarak belirlendiğinde basma deney numunemiz için DIN 51290-Bölüm 3, TS 3114 ve TS 3068'e göre herhangi bir problem olmayacağından, bu değerler (Şekil 5.25-a) numune ölçüleri olarak belirlenmiştir.

#### 5.4.3.2 Dönen Eğilme Gerilmeli Yorulma ve Eğilme Deney Numuneleri

Yorulma deney numuneleri için, (Tblo 5.11) standartlar ve yapılmış çalışmalar da DIN 51290'da, 40x40x160 boyut verilmiştir ve bu malzemeye uygulanan deney yöntemi; 3 nokta veya 4 noktadan eğme zorlaması ile, DIN 1048-Bölüm 1'dekine benzer yükleme durumunda fakat yükün dinamik olarak belirli periyotlarla etkidiği tarzdadır. Oysa çalışmada elde edilmiş malzeme boyutunun bir metal malzemenin dönen eğilme gerilmeli yorulma deneyinde olduğu biçimde silindirik alınıp uygulanabilmesi için; TS 3068'e göre

"silindir şeklindeki numunelerin çapları ile diğer şekillerdeki numunelerin en küçük kesit boyutları betondaki en büyük agrega tane büyüklüğünün en az dört katı olmalıdır veya DIN 51290–Bölüm 3'e göre üç katı olmalıdır." ifadelerine göre 8 mm tane büyüklüğü ile minimum silindir çapı 32 mm ve 24 mm olacaktır. Buradan hareketle tasarlanan sisteme göre numune çapı 40 mm ve numune uzunluğu 100 mm olarak alındığında DIN 51290–Bölüm 3'e ve TS 3068'e göre yine herhangi problem oluşmayacağından, belirtilen değerler numune boyutları olarak alındı.

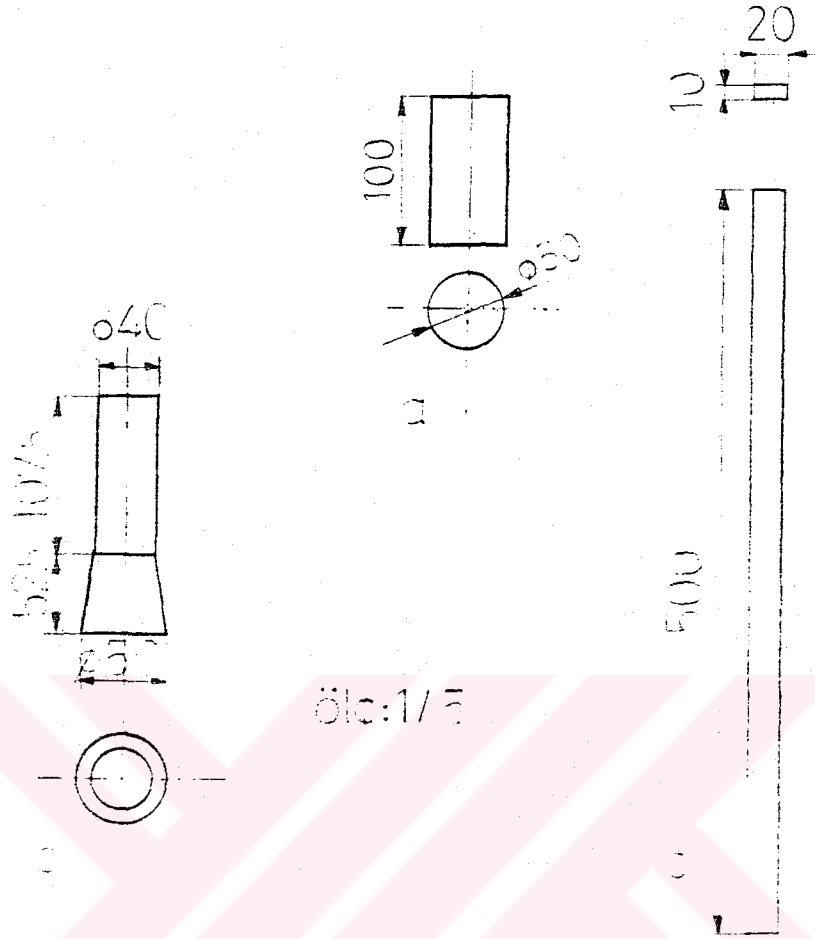
Burada belirlediğimiz numune boyutları (standartlara uygunluk açısından) bu güne dek yapılmış benzer çalışmalar ve literatür araştırmalarında görülmemiştir.

Eğilme deney numune boyutları içinde yine yorulma deney numunesi gibi, DIN 51290–Bölüm 3'de, seçimimiz olan maksimum 8 mm tane büyüklüğü için 40x40x160 mm boyutlar verilmiştir. Uygulama tarzı ise eğme düzeni olarak görev yapan mesnetler üzerindeki numunenin ortasına yük uygulanması şeklindedir. Burada her iki deneydeki numunelerde, eğilme gerilmeleri etkisinde çekme ve basma gerilmelerine maruz kalacaktır. Eğilme deneyi bir ankastre çubuğun uç kısmına etkiyen yük ilede yapılabilir. Dolayısıyla eğilme yorulma deney numunesi için belirlenmiş boyutların, eğilme deneyi içinde seçilmesiyle eğilme deneylerini yapmak mümkün olabilecektir. Üstelik bu seçim ile aynı kalıpların kullanılarak, her iki deney numune gruplarının hazırlanması da bir avantaj olacaktır. Aksi halde yeni kalıpların yapılması bunların hazırlığı, bakımı, her bir döküm için bu farklı yeni bileşimlerin oluşturulması gerekeceğinden, seçim bunlarıda önleyerek daha seri çalışma imkanı sağlayacaktır. Dolayısıyla eğilme deneyi için de çapı 40 mm ve uzunluğu da 100 mm olan boyutlar uygun görülmüştür.

Eğilme yorulma ve eğilme deney numuneleri için verilmiş bu boyutlar, yükün etkidiği noktadan ankastre noktaya kadar olan ölçülerdir. Numunenin, bu etki altında kalabilmesi için, bir tutucu kısmı ve yük etki noktası da düşünüldüğünde tasarlanmış yeni boyut değerleri, Şekil 5.25–b'de verildiği gibi alınmıştır.

#### 5.4.3.3 Sönüm Deney Numuneleri

DIN 51290–Bölüm 3'de numune boyutları 40x40x100 mm olarak verilmiştir. Verilmiş bu boyutlar hacim olarak oldukça büyük olduğundan ve önceki çalışmalar da dikkate alınarak, sönüm numunelerini daha kullanışlı bir sistemde test edebilmek için 10x20x500 mm boyut değerleri (Şekil 5.25–c) tayin edilmiştir. Numunenin ince kesitli alınmasının nedeni çok daha az bir yük uygulanarak serbest titreşim eğrilerinin rahatlıkla elde edilebilmesi içindir.



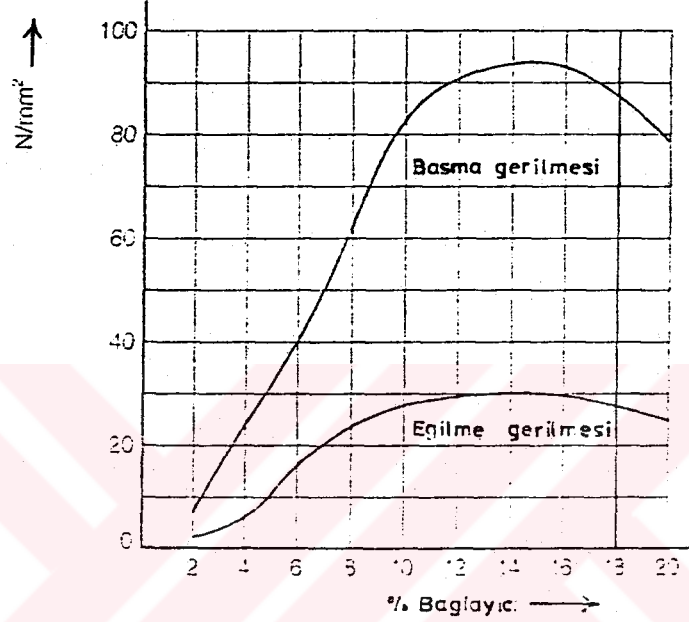
Şekil 5.25 Basma, eğilme, yorulma ve sönüm deney numuneleri

#### 5.4.4 Numune Boyutlarına Bağlı Bağlayıcı-Dolgu Malzemesi Miktarları

"Literatür araştırmasında", "polimer beton" yapısını oluşturulacak harç, reçine ve sertleştirici karışımından oluşan bağlayıcı ve dolgu malzemesinin karışım oranları için birçok çalışmanın yapılmış olduğunu görüyoruz. Bunlar incelendiğinde, bağlayıcı oranının maksimum %30, dolgu malzemesinin ise maksimum %90 değerinde alınabileceği ifade edilmiştir. Birçok çalışmada, "epoksi reçine" uygulamalarında %(7-13) bağlayıcı ve diğer kısmı dolgu malzemeli olarak uygulanmış, "poliester reçine" esaslı "polimer beton" çalışmalarında da, bağlayıcı miktarı %20 civarında alınmıştır.

Firma, DIN 1164'e uygun basma ve eğilme mukavemeti deney numuneleri ile çalışmalarında, bağlayıcı olarak "Europox 710/Eurodur 250" ve dolgu malzemesi ise "1 parti 0-0.2 mm ve 1 parti 0.6-1.2 mm kuvarz kum" karışımı ile mukavemet-% bağlayıcı ilişkisi inceleme sonuçlarını Şekil 5.26'da vermiştir. Burada maksimum bası ve eğilme mukavemeti değerleri bağlayıcının %(12-17) değerleri arasında %14.3 ile ve sırasıyla 95 ve 30 N/mm<sup>2</sup> değerleri alınmıştır. Tabii ki, belirlenmiş malzemeler, ortam

şartları, yöntem ve bileşimlerin değişimiyle farklı sonuçların oluşacağı açıktır. Fakat yine de kullandığımız reçine aynı firma ürünü "epoksi reçine" olduğundan ve birçok çalışmada değişik oranların da kullanılmış olması sebebiyle, başlangıç için burada



Şekil 5.26 Bağlayıcı oranına bağlı olarak mukavemetteki değişim

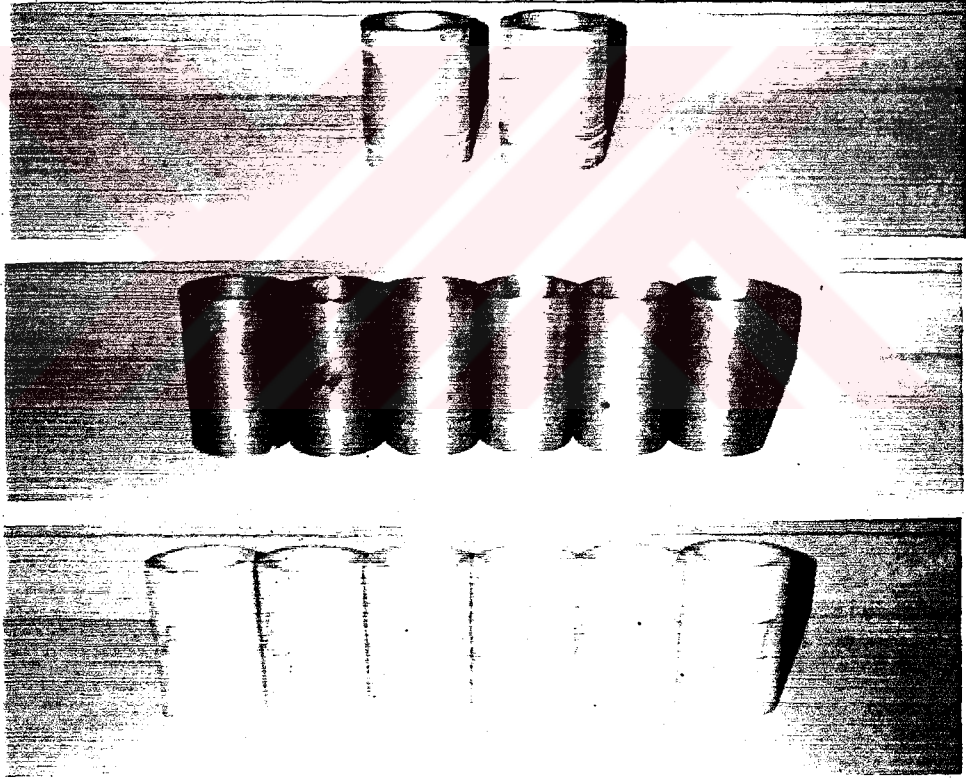
belirlenmiş %14.3 değeri alınarak ve daha sonrada %18 ve %10 oranlarıyla karışımların oluşturulup çalışmanın devamına karar verildi. Fakat ileriki bölümlerde özellikle basma ve eğilme ön deneyleri sonrası, sonuçlar %10 oran yerine %18'inde üzerinde bir oran ile çalışmayı zorunlu kılmıştır. Bu gelişme ile, sonuçta %14.3, %18 ve %22 değerleri çalışmada kullanılmak üzere esas bağlayıcı oranları olarak belirlenmiştir. Oranlar dışındaki kısım "dolgu malzemesi" miktarlarıdır. Bölüm 5.4.1'de Şekil 5.20 ile verilmiş "hassas tartı cihazı" ile numune hacimlerine göre, gerekli döküm miktarları hazırlanmıştır.

#### 5.4.5 Kalıpların Hazırlanması

Bölüm 4'de kalıp üretimi için birçok malzeme önerilmiştir. Bunlardan "çelik, st-37" "alüminyum" ve "plastik, kestamit" malzemelerden öncelikle basma deney numuneleri için modeller hazırlandı (Şekil 5.27). Dökümde, "epoksi reçine" büzülme göstermeyip tamamen bulunduğu kabın şeklini almaktadır. Her üç malzemeden hazırlanmış kalıplar gerekli kalıp ayırıcı malzemeler uygulandı ve yapılan döküm sonrası numuneler

kalıptan alındı. Bu işlemde, "plastik, kestamit" malzeme, hafif, kolay işlenebilen, kalıptan numunenin alınmasındaki rahatlık ve boyut kararlılığını koruyabilmesi nedeniyle çalışmanın ileriki safhalarında kullanılmak üzere, kalıp malzemesi olarak seçilmiş ve gerekli kalıplar "kestamit" malzemedan yapılmıştır. Çelik ve alüminyum kalıplar ise, zorunlu kalınmadıkça kullanılmamıştır.

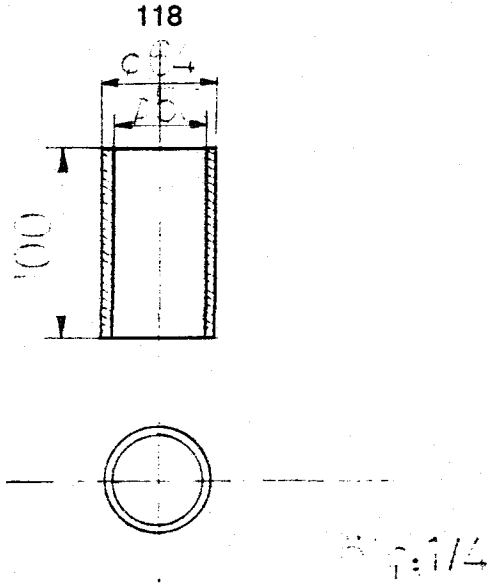
Aşağıda sırasıyla, basma, eğilme, yorulma ve sönüm deney numune kalıp modellerinin hazırlanabilmesi için, standartlara uygunluğu ve toleranslarıyla boyutları verilmiştir.



Şekil 5.27 Basma deney numune kalıbı modelleri

#### 5.4.5.1 Basma Deney Numune Kalıbı

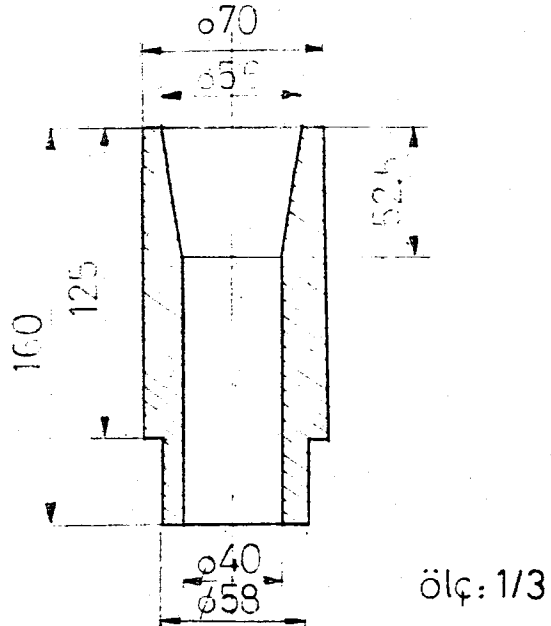
Bölüm 5.4.3.1'de belirlenmiş olan deney numune boyutlarına göre, "kestamit" malzeme, basma deney numune (Şekil 5.25-a) kalıpları için standartlarda verilmiş (TS 3068, TS 3114) toleranslar dahilinde işlenerek Şekil 5.28'de görüldüğü gibi hazırlanmıştır.



Şekil 5.28 Basma deney numune kalıbı boyutları

#### 5.4.5.2 Eğilme Yorulma ve Eğilme Deney Numune Kalıpları

Bölüm 5.4.3.2'de belirlenmiş olan deney numune boyutlarını verecek numune kalıbı, toleranslar dahilinde, Şekil 5.29 ve Şekil 5.30'da gösterildiği gibi hazırlanmıştır.



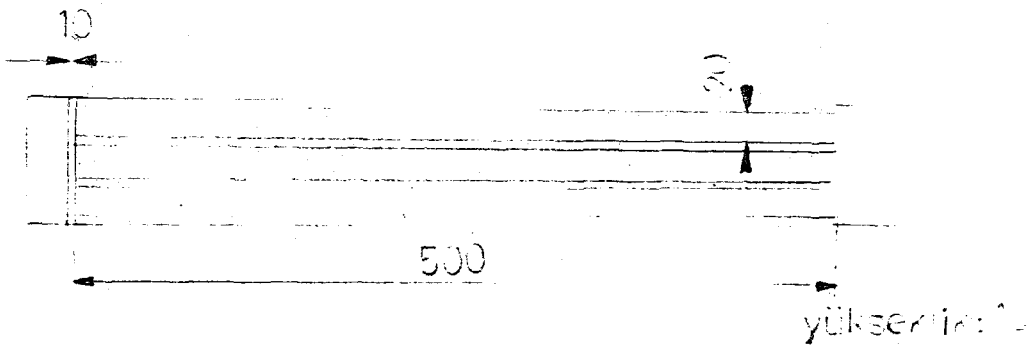
Şekil 5.29 Eğilme yorulma ve eğilme deney numune kalıp boyutları



Şekil 5.30 Eğilme yorulma ve eğilme deney numune kalıpları

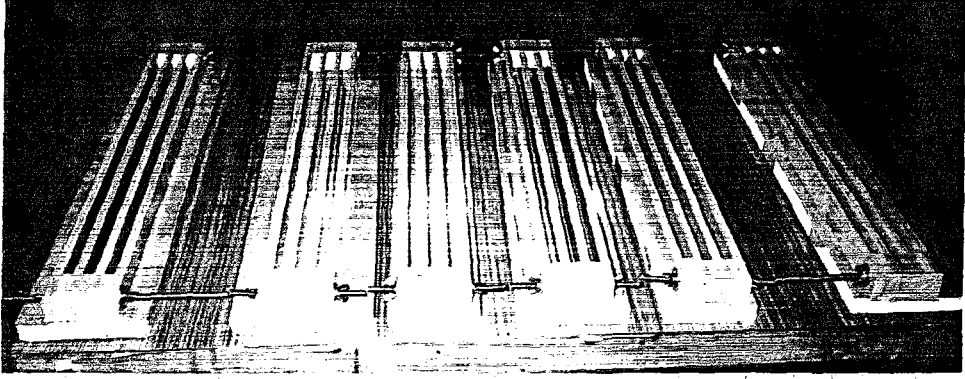
#### 5.4.5.3 Sönüm Deney Numune Kalıbı

Bölüm 5.4.3.3'de belirlenmiş numune boyutlarına göre, sönüm deney numune kalıpları Şekil 5.31 ve Şekil 5.32'de gösterildiği gibi hazırlandı.



Şekil 5.31 Sönüm deney numune kalıp boyutları





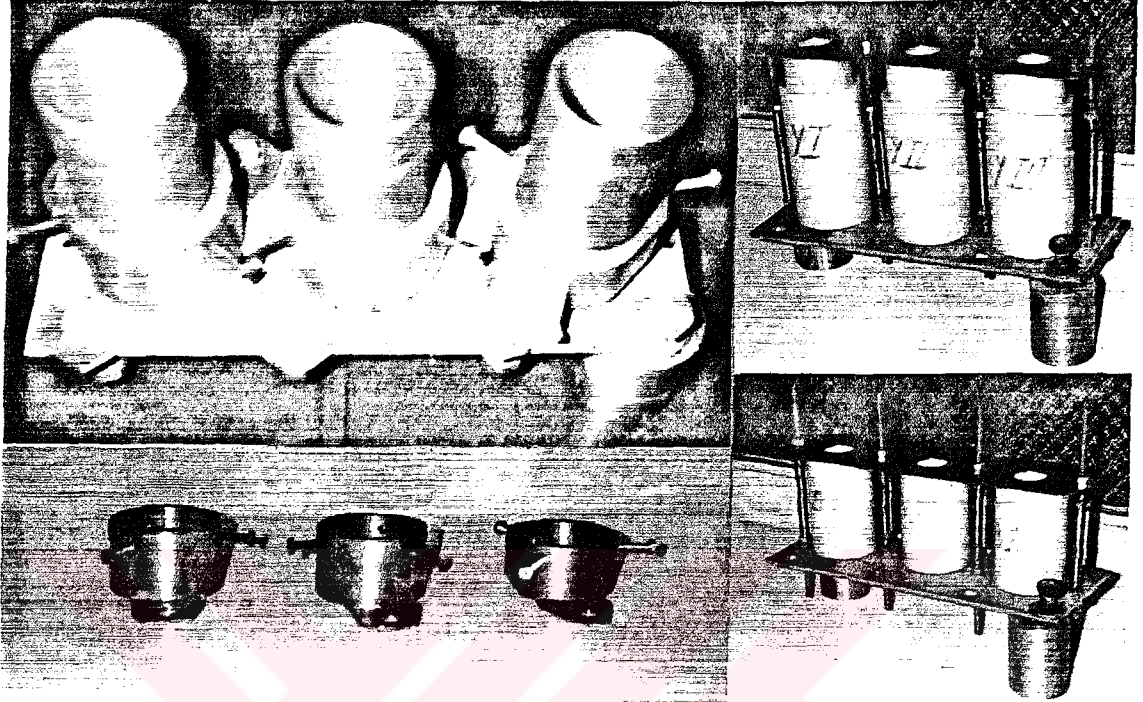
Şekil 5.32 Sönüm deney numune kalıpları

#### 5.4.6 Deney Numunelerinin Dökümü

Bölüm 4'de "döküm" için verilen bilgilerde, en iyi yapı oluşumu için numunelerin "vibrasyon" ile dökülmeleri gerektiği ifade edilmiştir. Bunun için işlemde, Bölüm 5.4.1'de gösterilmiş, "masa tipi vibratör cihazı" kullanılmıştır. Cihaz, kalıplar ve bağlama elemanlarından oluşmuş sistemin, titreşimleri, en iyi şekilde harç malzemeye iletebilmesi gerekmektedir.

Bunun için (Şekil 5.33'deki) "basma deneyi" ile "eğilme yorulma ve eğilme" deney numuneleri için, sabitleyici olarak görev yapacak elemanlar hazırlanmıştır. Sistemde, saplamalar aracılığıyla numune kalıplarının arada kalacağı şekilde, üzerlerinde bir saç plaka ve altlarında da bir çelik plaka yer alır. Veya çelik plaka üzerine, civata-somun bağlantısıyla tutturulmuş, 3x120° de gövdesine M6 diş açılıp, ortası boşaltılmış kısma, özellikle metal kalıpların sabitlenmesi için yerleştirilebileceği, silindirik elemanlar kullanılmıştır. Sonuçta bu elemanlar saç plaka altında yer alan iki adet disk desteği ile civata ve somun bağlantısı kullanılarak, tablaya tespit edilmiştir. Burada, metal veya plastik Bölüm 5.4.3'de verilmiş deney numune boyutlarına uygun ve Bölüm 5.4.5'de verilmiş "basma" veya "eğilme yorulma" veya "eğilme" deney numune kalıplarından dökümü istenenler, vibratör ve bağlama elemanlarıyla birlikte oluşturulan döküm deney seti, çalışmaya hazır hale getirilmiştir.

Bölüm 5.4.2.2'de, Şekil 5.24 ile belirlenmiş 7 bileşim grubunun, Tablo 5.8 ile verilmiş elekten alta geçen % miktarları dikkate alınarak ve Bölüm 5.4.4'de verilmiş olan bağlayıcı-dolgu malzemesi oranlarından, "bağlayıcı" oranları %14.3, %18 ve %22 değerlerinde, dökümü istenen numuneye bağlı olarak, Bölüm 5.4.1'de verilmiş hassas

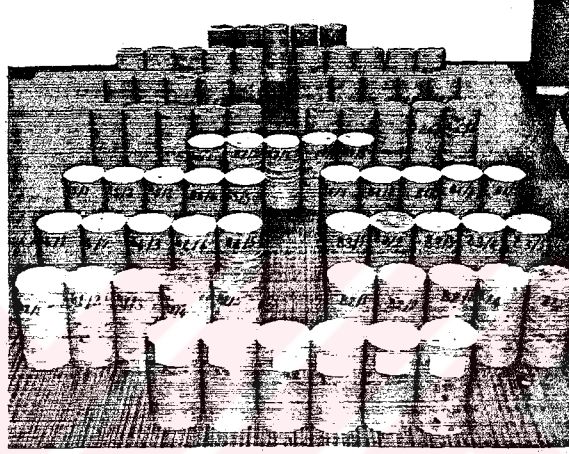


Şekil 5.33 Deney numune kalıpları tutucusu

tartı cihazı ile plastik ölçü kaplarının kullanılmasıyla gerekli reçine ve sertleştirici miktarlarının tartımları tamamlandı ve dogu malzemeleri "kuvarz" miktarlarının önceden hazırlanmış olan kullanılacak kısımlarında ayrıldı. Plastik harç teknesinde bu dolgu malzemelerinin iyice karışımı sağlandı. Daha sonra "epoksi reçine" gerektiği kadar dolgu malzemesine dökülerek yine her bir tanenin reçine tarafından tamamen ıslatıldığına görülmesine kadar fakat çok seri bir şekilde karıştırılmaya devam edildi. Bu işlemin bitmesi sonucu, en önemli aşama olan sertleştiricinin ilavesi işlemidir. Malzemelere katıldıktan sonra mümkün olabilecek en kısa zamanda ve karıştırma işlemi tam oluşacak şekilde sertleştiricininde katıldığı bileşimin hızla karıştırılmasına devam edildi. Bu arada karışımın berrak olan rengi sertleştirici ilavesi ve karıştırılmasıyla tamamen açık kahverengi ye dönüştü. Bu aşama sonrası derhal, yukarıda açıklandığı tarzda hazırlanmış vibratör çalıştırıldı ve harç karışım titreşim yapmakta olan kalıpların açık olan kısımlarından içeriye, yine mümkün olabilen en kısa zamanda ve seri olarak, baskı uygulanmadan dolduruldu. Titreşim yapmakta olan cihaz 15 dakika süreyle, döküm anında oluşabilecek hava kabarcıklarının çıkması ve tanelerin daha sıkı bir yapı oluşturabilmesi için çalıştırıldı. Pota ömrü firma tarafından seçtiğimiz reçine ve sertleştirici için 30 dakika olarak verilmiştir. Çalışmamızda "vibrasyon" süresi 15 dakika olarak uygulanmıştır. Dolayısıyla cihaz durdurulduktan 15 dakika veya kayıp bir zamanla 10

dakika sonra "jelleşme" başlayacağından yapılmış reçine ve sertleştirici seçimlerinde doğru olduğunu belirtebiliriz.

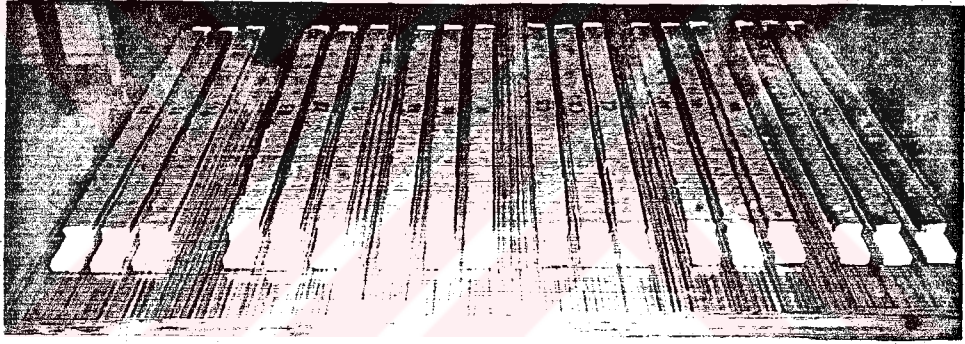
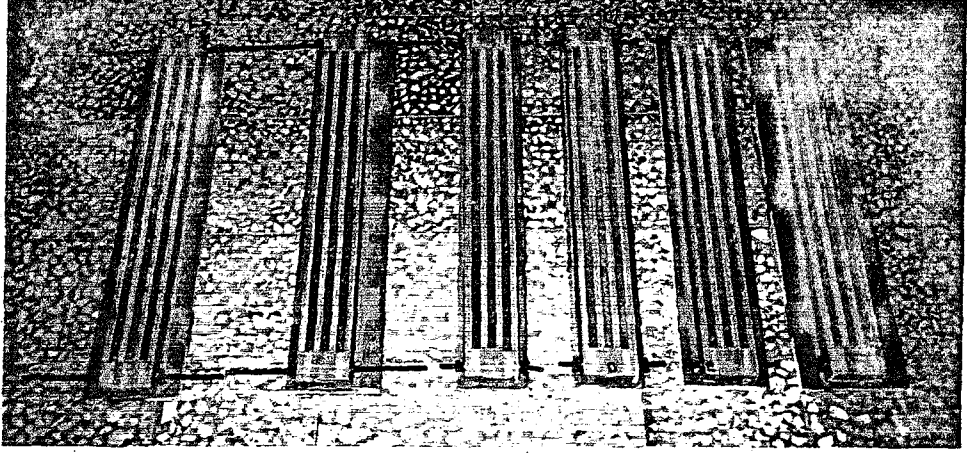
Kalıplar sökülerek sertleşme işlemine kadar bekleyeceği yerlere alınır. Malzemenin tamamen kemikleştikten sonra kalıptan alınması daha uygun olacağından, buradaki faktörlere göre malzemeyi 1 gün sora kalıptan almak mümkün olabilmektedir. Şekil 5.34- a ve b'de kalıptan alınmış basma ve eğilme-yorulma deney numuneleri görülmektedir.



Şekil 5.34 Kalıplardan alınmış basma ve eğilme-yorulma deney numuneleri

Bölüm 5.4.5.3'de verilmiş sönüm deney numune kalıpları ise; Şekil 5.32'de verildiği gibi hazırlandıktan sonra, "masa tipi vibratör" cihazı üzerine tespit edilerek döküme hazır hale getirildi. Sönüm deney numune kalıpları hacimlerine uygun, daha önce belirlenmiş olan reçine-sertleştirici-dolgu malzemesi miktarları hazırlanarak, yukarıda verildiği şekilde döküm işlemi yapıldıktan sonra, kalıplar cihaz üzerinden alınarak sertleşmenin tamamlanacağı yere alındı. Sönüm deney numune kalıpları için uygulanan "vibrasyon süresi", dökülen malzeme kalınlığı ince ve döküm yüzeyi geniş olduğundan, 8 dakika

olarak alındı. Şekil 5.35-a ve b'de sırasıyla döküm sonrası sönüm deney numune kalıpları ve sertleşme tamamlandıktan sonra kalıptan alınmış numuneler görülmektedir.



Şekil 5.35 Döküm sonrası kalıplar ve kalıplardan alınmış sönüm deney numuneleri

Yukarıda ifade edildiği şekilde, 3 adet bağlayıcı oranı ve 7 grubun her biri için 5 adet olmak üzere toplam 105 adet "basma deney numuneleri" ve "eğilme deney numuneleri", 1 bağlayıcı oranına göre 7 grubun her biri için toplam 105 adet "eğilme yorulma deney numunesi" ve 1 bağlayıcı oranına göre 3 grubun her birinden 3'er adet olmak üzere toplam 9 adet "sönüm deney numunesi" testlerde esas olmak üzere hazırlanmıştır. Bunların dışında, döküm yapılmadan önceki, döküm anındaki, numunelerin kalıplardan alınmaları, korunmaları ve deneysel çalışmalarda oluşan hatalı uygulamalar sonucu hasara uğrayan tüm malzemelerin yerine, yukarıda belirtilmiş olan bu sayılara ilave birçok deney numunesi daha dökülmüştür. Bunların tamamı asıl çalışmadan önce birtakım büyüklüklerin belirlenmesinde kullanılmış olup asıl değerlendirmeler ise bu çalışmalar sorası yukarıda verilmiş deney numune sayıları üzerinden yapılmıştır.

Burada, değerlendirmelerde kullanıldığı belirtilmiş olan "deney numune sayılarının"

deneysel çalışmada niçin esas alındığı, tamamen Bölüm 5.2'de "deney yöntemlerinin belirlenmesi" sonrası, bu sıralamayı takiben elde edilen, Bölüm 5.6'daki deneyin yapılması ve deney sonuçlarının değerlendirilmesiyle, açıklanmıştır.

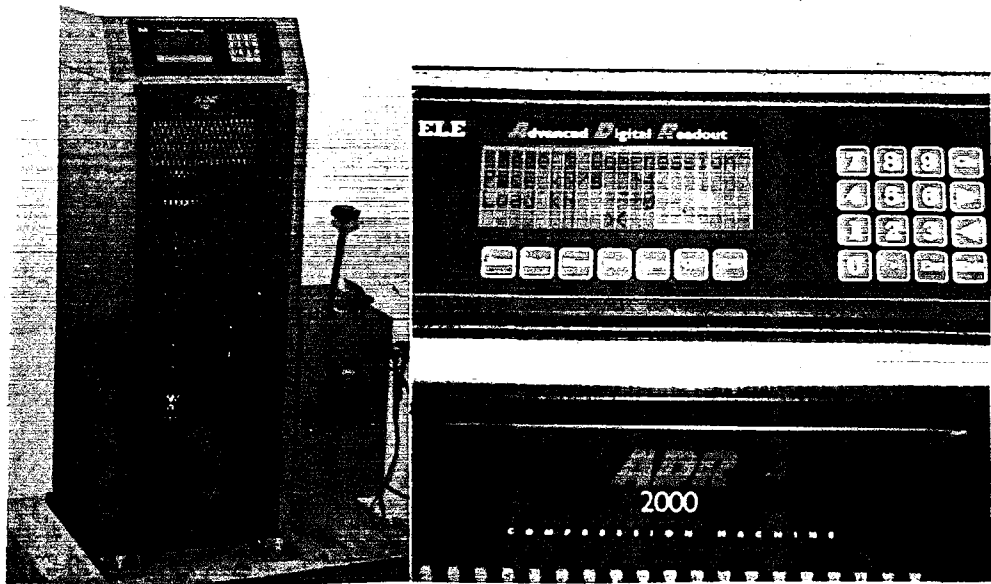
## 5.5 DENEYSEL ÇALIŞMANIN YAPILACAĞI CİHAZLAR

### 5.5.1 Basma Deney Makinası

Üniversite Laboratuvarında bulunan, "basma deney makinası" özellikleri Tablo 5.12 ile görünüşü ve dijital kontrol paneli ise Şekil 5.36 ile verilmiştir.

Tablo 5.12 Basma deney makinası özellikleri

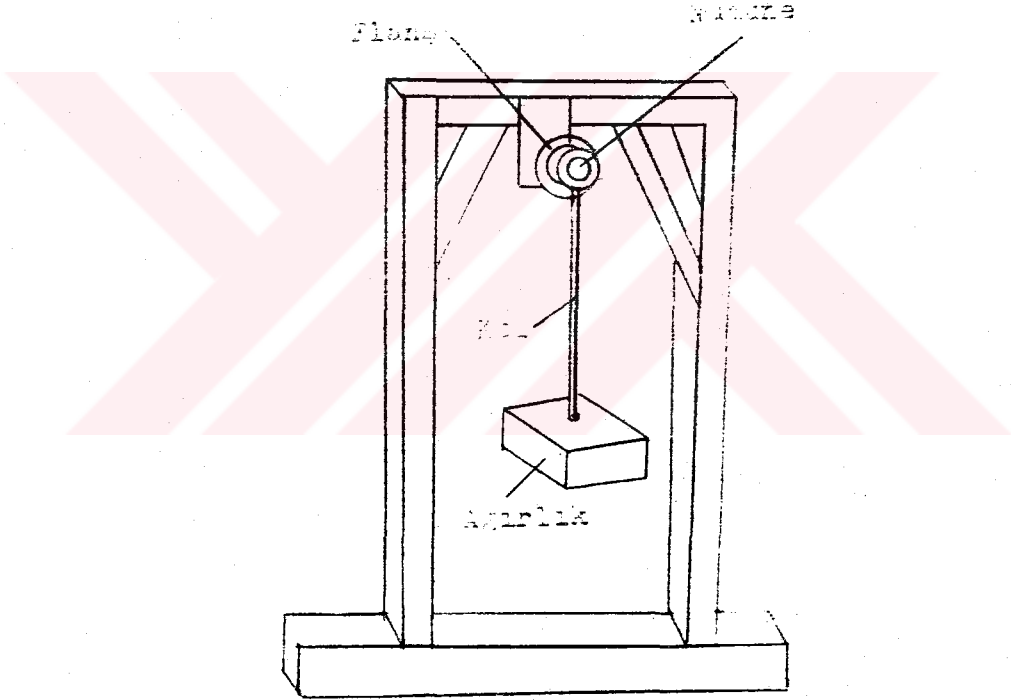
Basma deney makinasının	Özellikleri
Tipi	EL 31-3275/01 ADR 2000
Kapasitesi	2000 KN
Dijital dış okuma ünitesinin kalibrasyonu	50 – 2000 KN
Maksimum yükte hidrolik basınç	51.6 MPa (7477.3 lbf/in <sup>2</sup> )
Firma	Ele International Limited /İngiltere



Şekil 5.36 Basma deney makinası ve kontrol paneli

### 5.5.2 Eğilme Deney Seti

Eğilme deney seti, eğilme deney numunesinin Bölüm 5.4.3.2'de ve Bölüm 5.4.6'da verilmiş konik kısmının geçebileceği tarzda yapılmış bir flanşın, dayanımlı bir çelik parçaya tespiti ve bununda ana yapıya civata somun bağlantısıyla tespitinden ibarettir. Şekil 5.37'de sistem elemanları ve yöntemin uygulanışının şematik gösterimi verilmiştir.

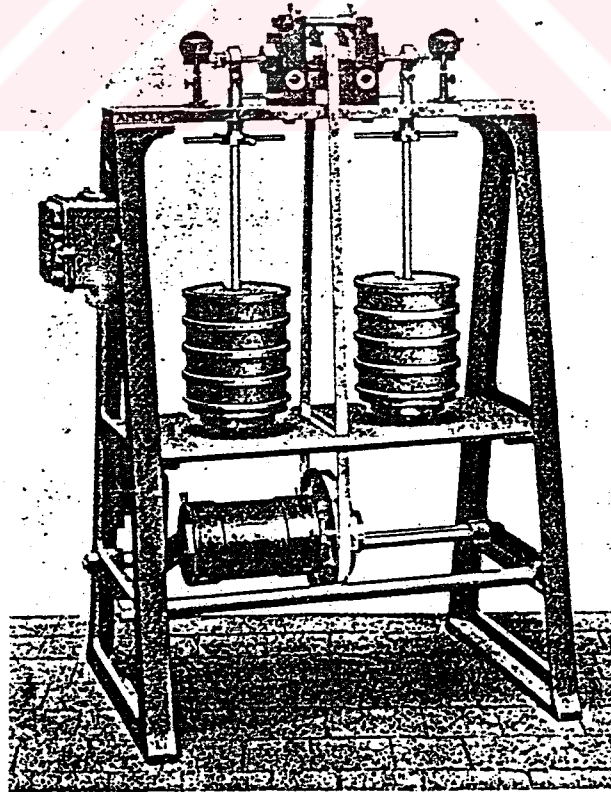


Şekil 5.37 Eğilme deney seti şematik gösterimi

### 5.5.3 Eğilme Yorulma Deney Cihazı

Bölüm 5.2.3.2'de, değişik zorlanma etkilerinde malzemelerin yorulma deneylerinin yapılabilmesi için tasarlanmış deney standlarının şematik görünüşleri verilmiştir. Bunlardan, "dönen eğilme gerilmeli yorulma deney tarzı" çalışmada, malzemelerin yorulma deneyleri için seçildi. Burada malzemeye eğilme gerilmesi etkisinde, belirli periyotlarda çeki-bası gerilmeleride etkimektedir.

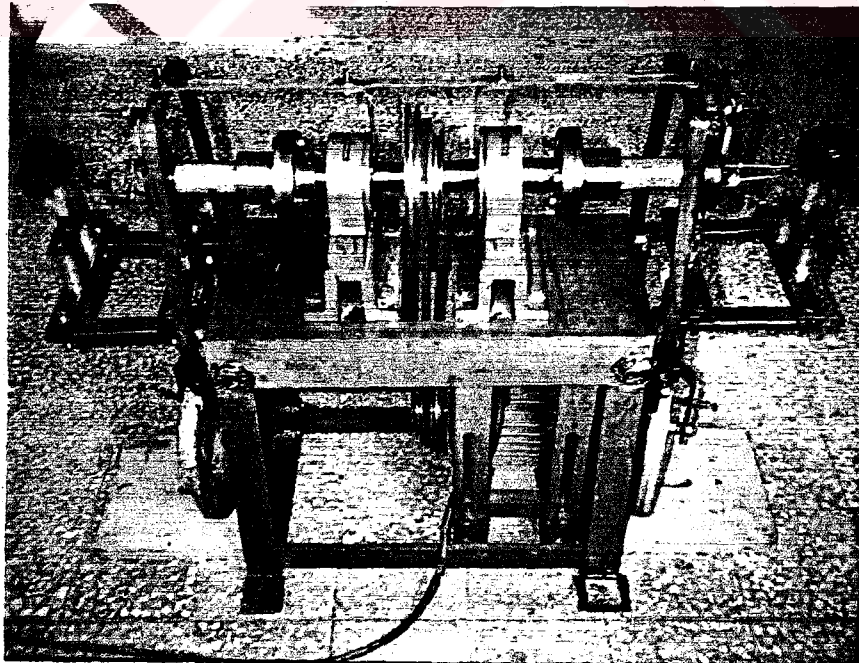
Hedef, Bölüm 5.1'de açıklandığı üzere, bir metal malzemedeki yorulma deneyi gibi polimer beton malzemenin de deneylerinin yapılabilmesidir. Fakat numune boyutlarını kullanılan tane büyüklükleri ve oluşturulması tasarlanan yapı nedeniyle, standart metal numuneler gibi küçük boyutlarda almak mümkün değildir. "Eğilme yorulma deney numuneleri, Bölüm 5.4.3.2'de verildiği gibi  $\phi 40 \times 160$  mm boyut ve numunenin sabitlenebilmesi için konik bir kısma sahip olan numunelerdir. Dolayısıyla biçim nedeniyle, deneyin özüne uygun tüm yüklemelerin numuneye etkiyebileceği ve numuneyi tezgaha rijit bir şekilde tespit edebileceğimiz bağlama elemanlarında mutlaka düşünülmesi gerekmiştir. Dolayısıyla, mevcut "dönen eğilme gerilmeli yorulma deney cihazlarının", tasarlanmış bu polimer beton yapı için geliştirilmesi gereği ortaya çıkmıştır. Bu amaçla, Şekil 5.38'de görünüşü ve Tablo 5.13'de ise özellikleriyle verilmiş "Amster eğilme yorulma makinası" nın prensipte yapısı aynı şekilde alınarak, özellikle numunenin biçimine uygun bir şekilde, uygulanacak yükün etki noktalarıda düşünülerek, bağlama elemanlarının geliştirilmesi, elektrik motoru, kayış kasnak, turmetreler, gövde ile yorulma deneylerinin çok uzun süreli olması nedeniyle de, aynı anda iki deney numunesinin test edilebileceği biçimde, Şekil 5.39'da görüldüğü gibi tasarlanarak imalatı yapıldı. Şekil 5.40'da iki taraftaki numuneye yük olarak etkiyecek elemanları, Şekil 5.41'de yine bu yüklerin numunelere tespitini sağlayan bağlantı elemanları ve Şekil 5.42'de ise numunenin cihaza bağlantısını sağlayan flanşlar verilmiştir.



Şekil 5.38 Amster eğilme yorulma deney makinası

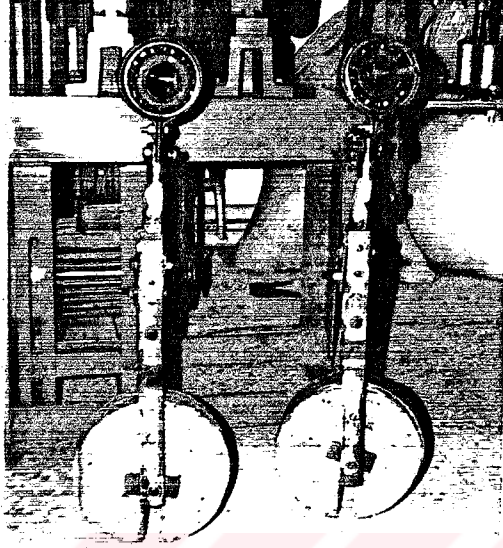
Tablo 5.13 Eğilme yorulma deney makinası özellikleri

Kullanılan makinanın	Özellikleri
Marka	Amsler eğilme yorulma makinası
Tip	BE 133
Boyutlar	600 x 820 x 1350 cm
Netağırlık / Brütağırlık	370 kg / 450 kg
Maksimum ağırlık	52 kg
Devir sayıları	3000, 2000, 1000 dev/dak
Elektrik motor gücü	1/2 PS
Turmetre	İşparçasının 100 devrinde 1 birim
Uygulama	Normal, sıcak veya korozyon etkisinde kalmış tüm standart metal numuneler
Firma	Alfred J. Amsler & Co., Schaffhausen / İSVİÇRE

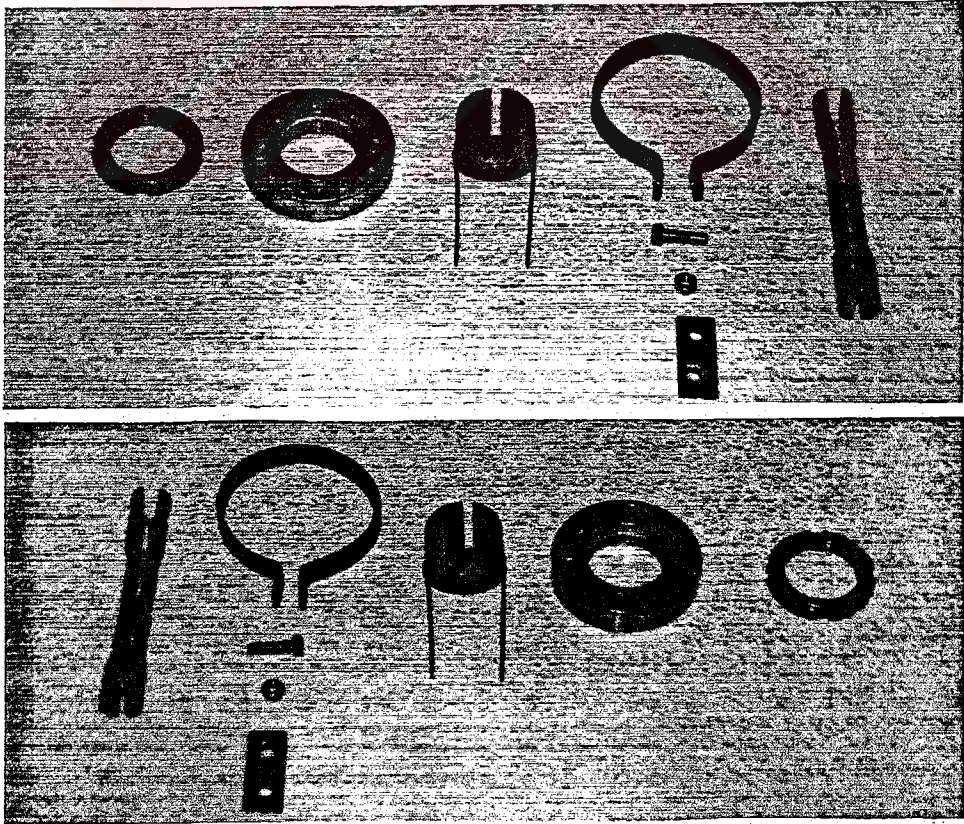


Şekil 5.39 Polimer beton numunelerin eğilme-yorulma deneyleri için imal edilmiş cihaz

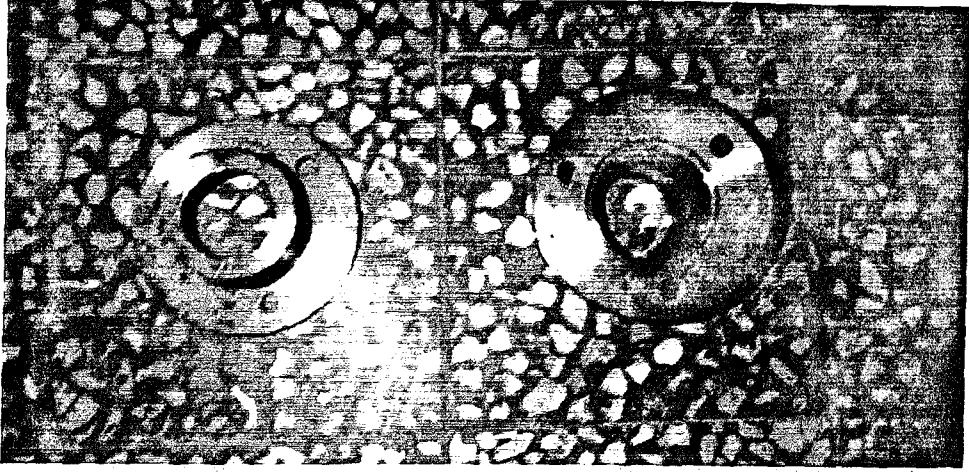




Şekil 5.40 Numuneye yük olarak etkiyecek elemanlar



Şekil 5.41 Numuneye yükün tespitini sağlayan bağlama elemanları



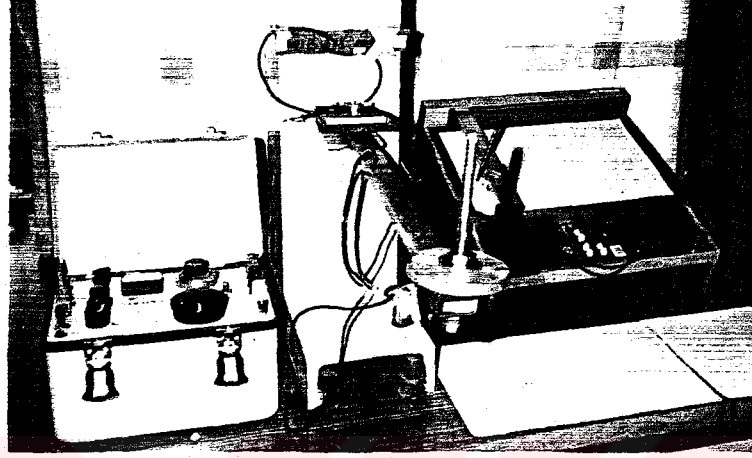
Şekil 5.42 Numunenin cihaza bağlantısını sağlayan flanşlar

#### 5.5.4 Sönüm Deney Seti

Bölüm 5.2.4'de verilen esaslar dahilinde, epoksi reçineli polimer betonda sönümlenme olayını inceleyebilmek için, numunenin bir ucundan ankastre olarak bağlanabileceği, bir tutucu kısma sahip gövde ile rijit bir kaynak konstrüksiyon yapıda hazırlanmış deney seti kullanıldı. Burada numune bağlantısının yapıldığı kısmın dışında, "x-y yazıcı" ve "strain indikatör" kullanılmıştır. Açıklanan cihazlar ile birlikte komple "sönüm deney seti" Şekil 5.43'de verilmiştir. Deney setindeki "x-y yazıcı" ve "strain indikatör" cihazlarıyla ilgili özellikler ise sırasıyla, Tablo 5.14 ve Tablo 5.15'de verilmiştir.

Açıklandığı şekilde eğilme gerilmeleri tesirindeki numunede oluşan şekil değişimlerini algılamak için "epoksi reçineli polimer beton" numuneler üzerine algılayıcı olarak, aktif şekilde görav yapacak, Bölüm 5.2.4.4'de verilmiş "strain gauge" ler, numunenin üst ve alt yüzeylerine birer olmak üzere ve bu iki strain gauge dışında yine aynı malzemeden bir diğer parçaya da, yüzeyine iki adet pasif olarak görev yapacak "strain gauge" ler, arada hava kalmayacak şekilde uygun yapıştırıcıları kullanılarak tespit edildi. Bölüm 5.2.4.5'de, Şekil 5.18 ile "wheatstone" köprü devrelerinde de verildiği üzere, "yarım köprü" devresi kullanılarak, hazırlanmış bu "strain gauge" li numunelerin bağlantıları, devreyi besleyen bir pil ile tamamlandı. Açıklanan "devre", "strain gauge" lerin ve "strain indikatörü" ne bağlantı şemaları, Şekil 5.44 ile verilmiştir. Burada kullanılmış "strain gauge" lerin özellikleri, Tablo 5.16 ile verilmiştir.

Bunun dışında elde edilmiş verileri değerlendirmek için kullanılan, "profil projektör" cihazı, Şekil 5.45 ve özellikleri ise Tablo 5.17'de verilmiştir.



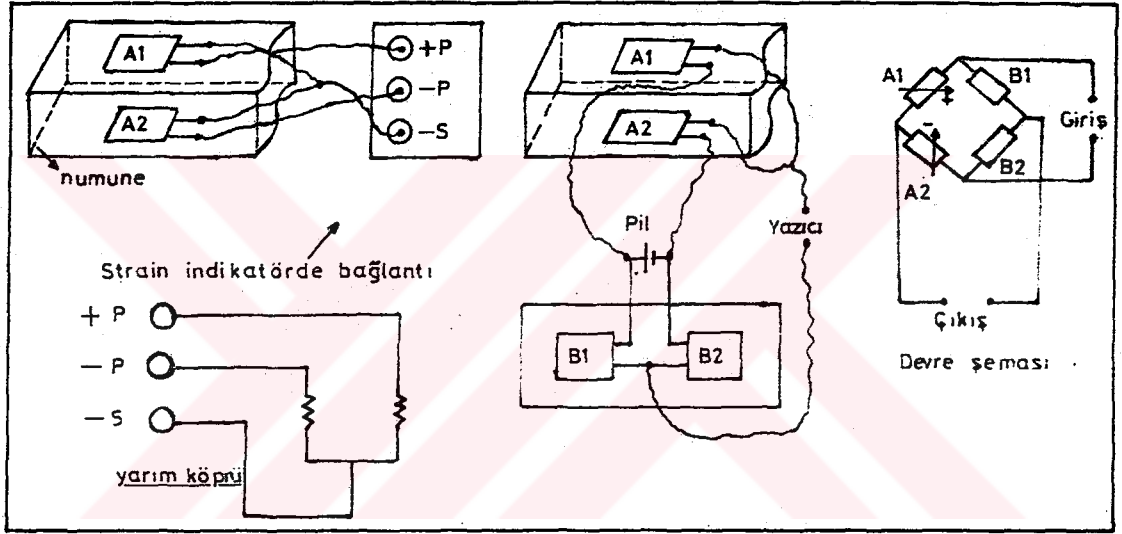
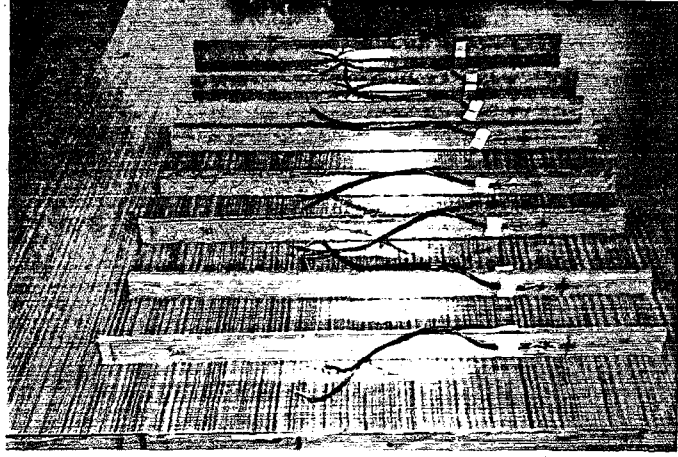
Şekil 5.43 Sönüm deney seti

Tablo 5.14 X-Y Elektronik yazıcı özellikleri

Kullanılan cihazın	Özellikleri
Gösterim - İsim	RDK - Rikadenki
Model	RW - IIT
Voltaj - Frekans	220 V - 50 Hz
İmal tarihi	06.1981
Firma	Kogyo Co. Ltd. Tokyo/Japonya

Tablo 5.15 Strain indikatör özellikleri

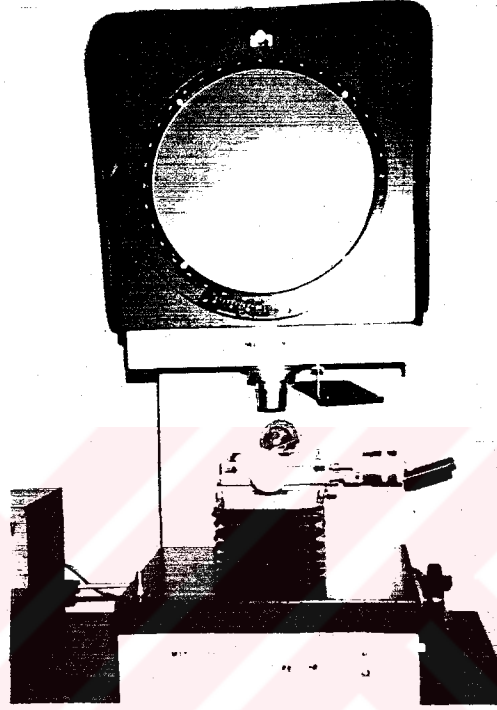
Kullanılan cihazın	Özellikleri
İsim	Strain indikatör
Model	P - 350 AZ
Voltaj / Frekans	230 V AC / 50 - 60 Hz
Firma	Measurements Group Instruments Division Kaleigh, North Carolina



Şekil 5.44 Sönüm deney seti devre şemaları

Tablo 5.16 Çalışmada kullanılan "strain gauge"lerin özellikleri

Strain gauge'nin	Özellikleri
Tip	6/120LY11
Direnç	120.00 [ $\Omega$ ] $\pm$ 0.35 [%]
Gauge faktörü (k)	2.03 $\pm$ [%]
Çapraz duyarlılık	- 0.1 [%]
Sıcaklık kompensasyonu ( $\alpha$ )	10.8. [ $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ]
Gauge faktörünün sıcaklık sabiti	104.0 $\pm$ 10 [ $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ], (-10 $^{\circ}\text{C}$ ... +45 $^{\circ}\text{C}$ )
Firma	HBM, Almanya



Şekil 5.45 Profil projektör

Tablo 5.17 Profil projektör özellikleri

Kullanılan cihazın	Özellikleri
Marka	Mitutoyo
Tip	PJ - 300
Ekran	$\phi 300$ mm, 4 parçalı, 360°, 1°taksimatlı
Büyütme, farklı objektifler ile	10x, 20x, 50x, 100x
X ve Y eksenlerinde hareket	25 mm - 25 mm
Ölçüm aralığı	0.005 mm
Voltaj / Frekans	220 V - 50 Hz
Firma	Mitutoyo / JAPONYA

## 5.6 DENEYLERİN YAPILMASI VE SONUÇLAR

### 5.6.1 Basma Deneylerinin Yapılması ve Sonuçları

Bölüm 5.4.6'da belirtildiği şekilde hazırlanmış olan basma deney numuneleri, Bölüm 5.5.1'de verilmiş basma deney cihazı ile "TS 3114" e uygun ve tüm basma deney numuneleri için yükleme hızı (4 kN/s) olduğu halde, 3 bağlayıcı oranının her biri için 5'er ve sonuçta 7 grup için toplam 105 deney numunesi ile deneyleri yapıldı. Bu çalışmaların sonuçları; %14.3 için Bölüm 5.6.1.1, %18 için Bölüm 5.6.1.2 ve %22 için Bölüm 5.6.1.3 ile verilmiştir. Burada belirtilmiş oranlardaki her bir grupta yer alan numunelerin basma yükü etkisindeki dayanımlarının dağılımı incelenerek ifade edilmiş şartlar etkisindeki "basma mukavemeti değerleri" belirlenmiştir.



#### 5.6.1.1 Reçine–Dolgu Oranı %14.3–%85.7 Olan Numunelerin Basma Deney Sonuçları

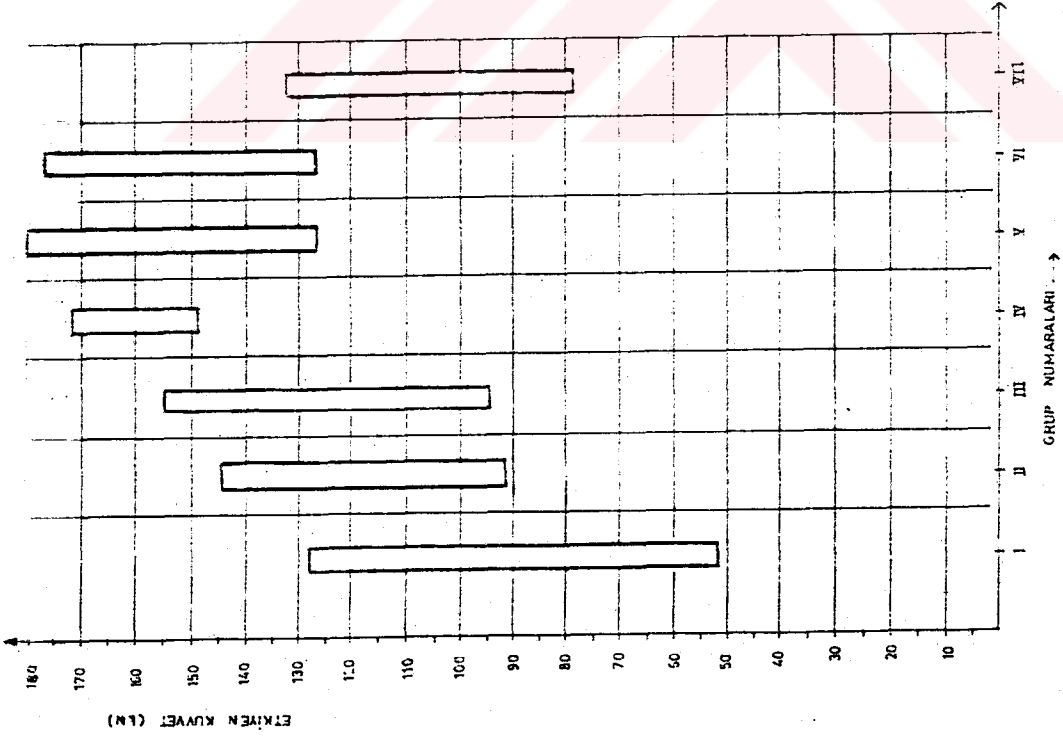
Burada, Tablo 5.18 ile, numunelere etkiyen yük değerleri (kN), bunlara karşılık gerilme değerleri (daN/cm<sup>2</sup>) ve ortalama gerilme değerleri verilmiştir. Bu sonuçlara göre; Şekil 5.46–a ile, yük–grup numaraları eksenlerinde "yük dağılımları", Şekil 5.46–b ile "yük dağılımlarının ortalamaları", Şekil 5.47–a ile "gerilme dağılımları" ve Şekil 5.47–b ile de "gerilme dağılımlarının ortalamaları" her bir grup için grafik olarak verilmiştir.



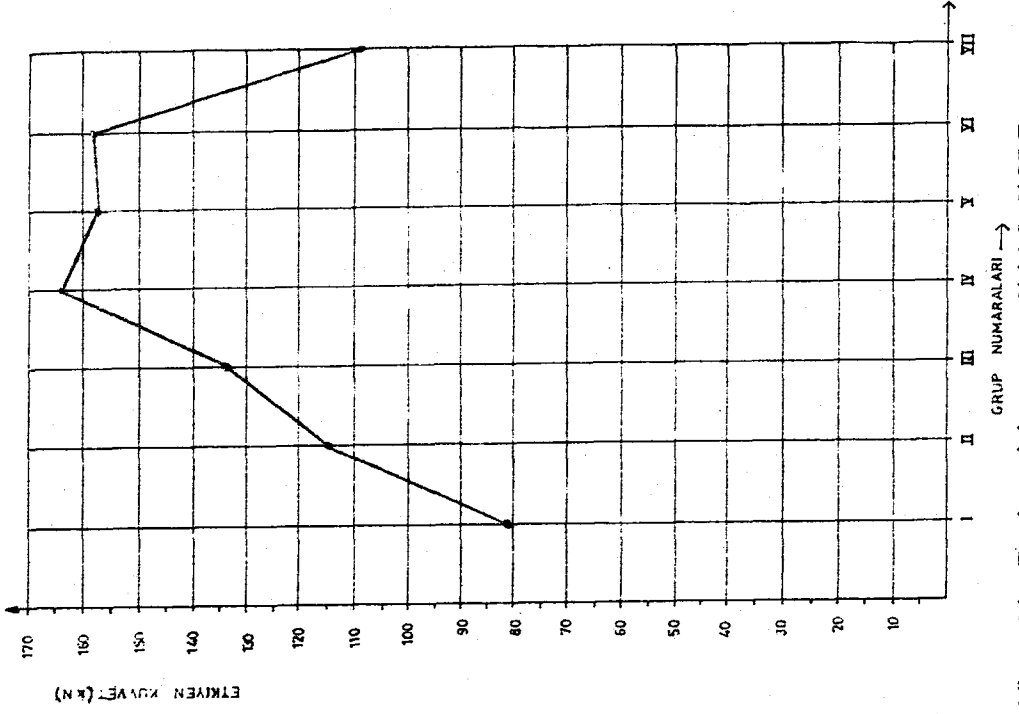
Tablo 5.18 Reçine-dolgu malzemeleri oranı; %14.3-%85.7 olan numunelerin basma deney sonuçları

Grup	No	Bası yükü, (kN)	Gerilme, (daN/cm <sup>2</sup> )	Ortalama, (daN/cm <sup>2</sup> )
BI	1	75	389.370	424.673
	2	51	264.772	
	3	66	342.646	
	4	89	462.052	
	5	128	664.525	
BII	1	92	477.627	594.957
	2	116	602.225	
	3	104	539.926	
	4	145	752.782	
	5	116	602.225	
BIII	1	141	732.015	689.597
	2	94	488.010	
	3	130	674.908	
	4	149	773.548	
	5	154	779.506	
BIV	1	149	773.548	849.346
	2	158	820.273	
	3	170	882.572	
	4	169	877.380	
	5	172	892.955	
BV	1	166	861.805	815.081
	2	158	820.273	
	3	179	929.296	
	4	126	654.141	
	5	160	809.889	
BVI	1	177	918.913	822.349
	2	155	804.698	
	3	174	903.338	
	4	126	654.141	
	5	160	830.656	
BVII	1	115	597.034	566.923
	2	113	586.651	
	3	132	685.291	
	4	108	560.693	
	5	78	404.945	

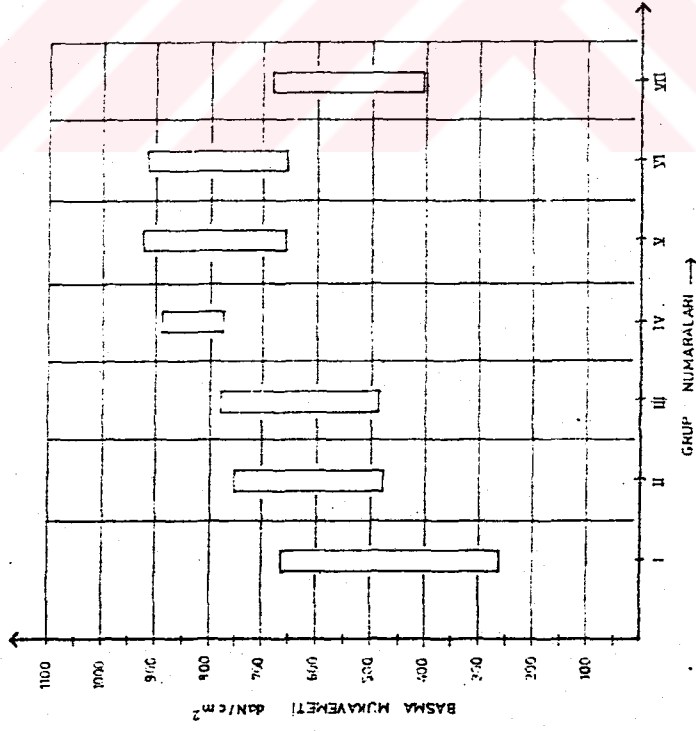




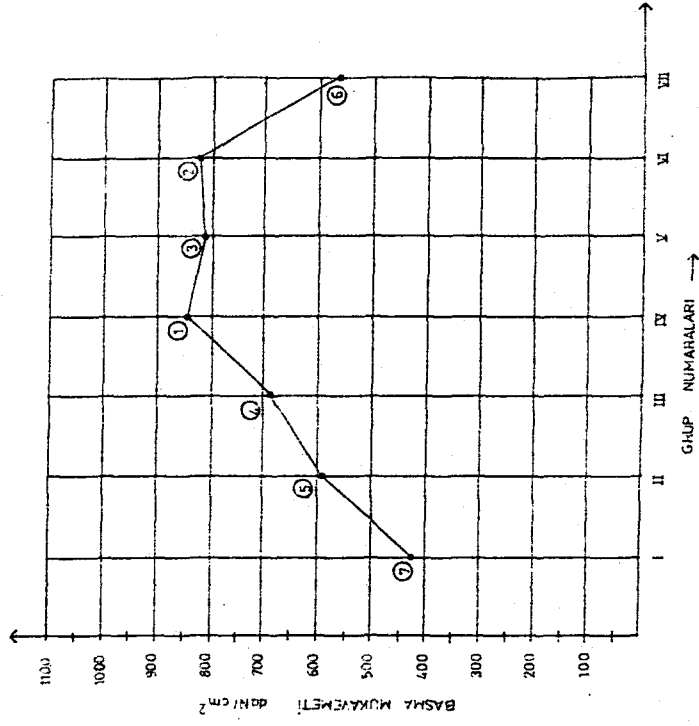
Şekil 5.46.a Reçine-dolgu oranı %14.3-%85.7 numunelerin basma deneyi yük dağılımları



Şekil 5.46.b Reçine-dolgu oranı %14.3-%85.7 numunelerin basma deneyi yük dağılım ortalamaları



Şekil 5.47.a Reçine-dolgu oranı %14.3-%85.7 numunelerin basma deneyi gerilme dağılımları



Şekil 5.47.b Reçine-dolgu oranı %14.3-%85.7 numunelerin basma deneyi gerilme dağılım ortalamaları

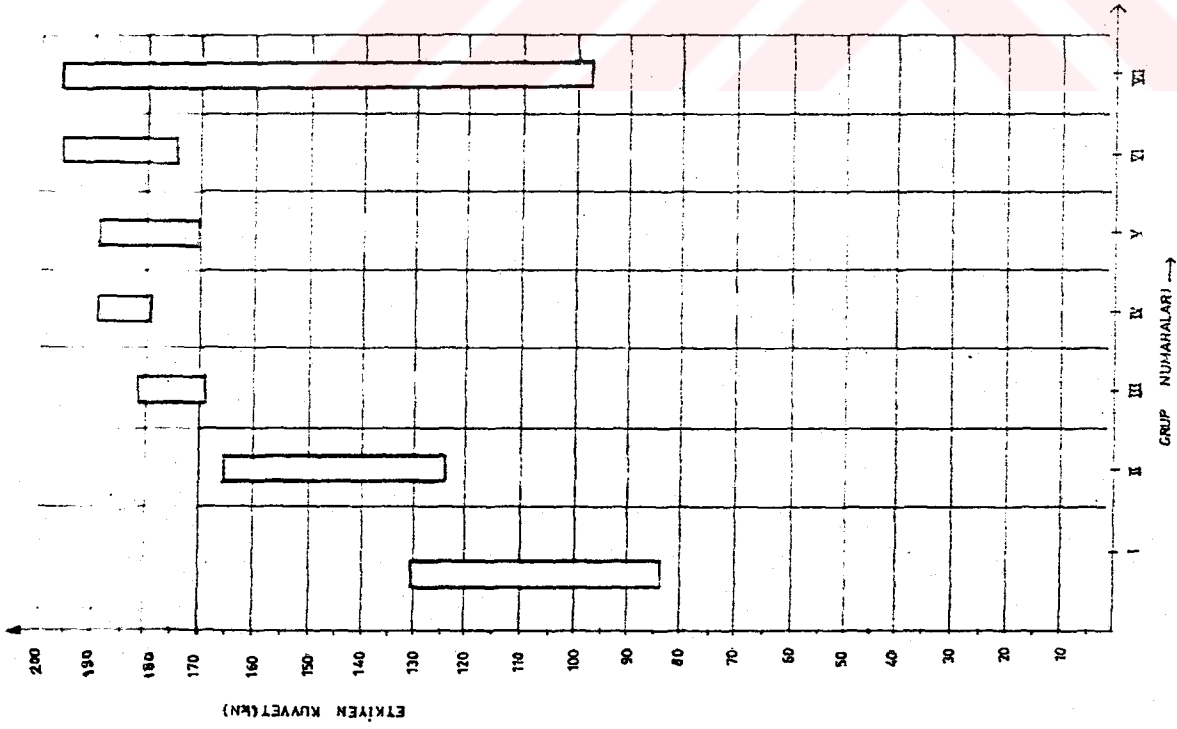
### 5.6.1.2 Reçine-Dolgu Oranları %18-%82 Olan Numunelerin Basma Deney Sonuçları

Burada, Tablo 5.19 ile, numunelere etkiyen yük değerleri (kN), bunlara karşılık gerilme değerleri ( $\text{daN/cm}^2$ ) ve ortalama gerilme değerleri verilmiştir. Bu sonuçlara göre; Şekil 5.48-a ile, yük-grup numaraları eksenlerinde "yük dağılımları", Şekil 5.48-b ile "yük dağılımlarının ortalamaları", Şekil 5.49-a ile "gerilme dağılımları" ve Şekil 5.49-b ile de "gerilme dağılımlarının ortalamaları" her bir grup için grafik olarak verilmiştir.

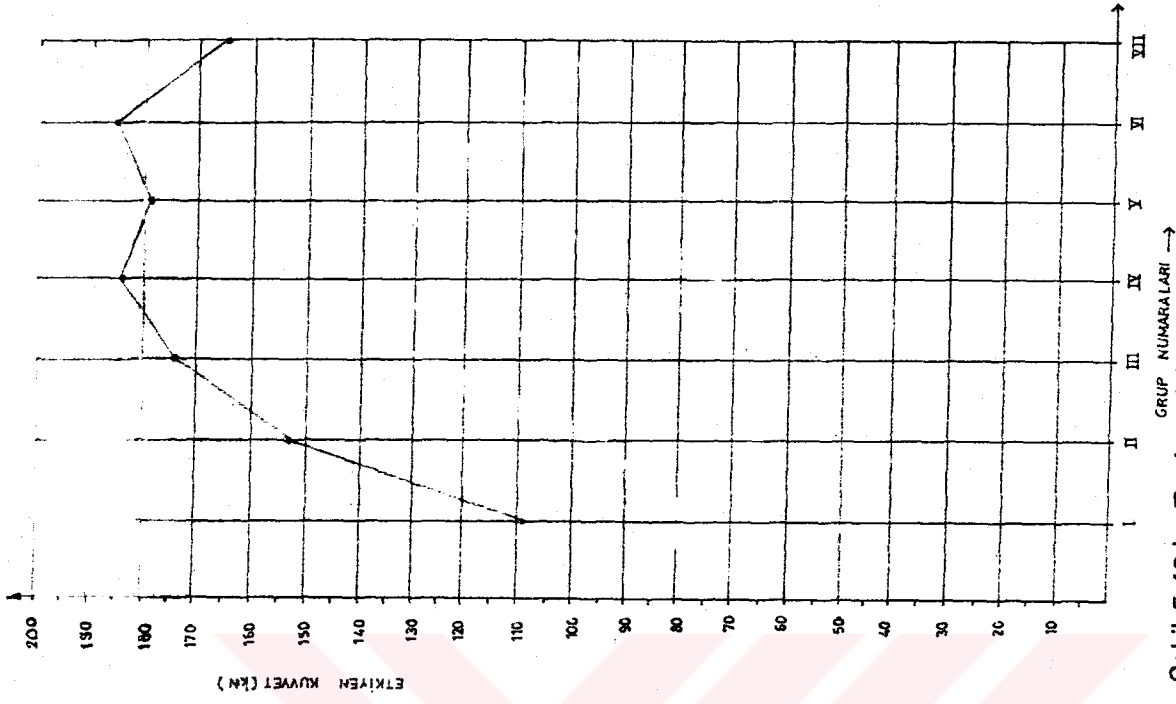


Tablo 5.19 Reçine-dolgu malzemeleri oranı; %18-%82 olan numunelerin basma deney sonuçları

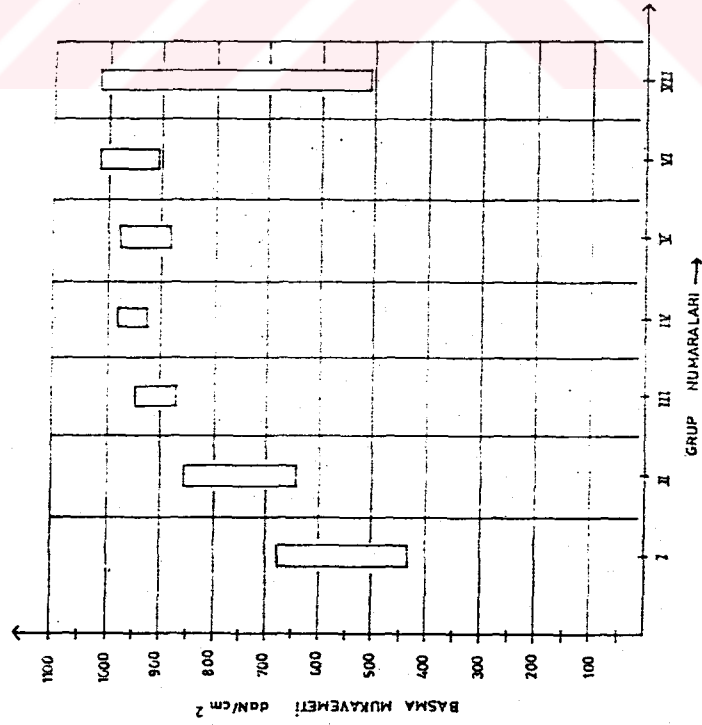
Grup	No	Bası yükü, (kN)	Gerilme, (daN/cm <sup>2</sup> )	Ortalama, (daN/cm <sup>2</sup> )
BI	1	125	648.955	569.004
	2	118	612.614	
	3	131	680.105	
	4	84	436.098	
	5	90	467.248	
BII	1	163	846.238	796.398
	2	165	856.621	
	3	160	830.663	
	4	124	643.764	
	5	155	804.704	
BIII	1	182	944.879	906.461
	2	170	882.579	
	3	177	918.920	
	4	168	872.196	
	5	176	913.729	
BIV	1	188	976.029	950.071
	2	185	960.454	
	3	178	924.112	
	4	182	944.879	
	5	182	944.879	
BV	1	174	903.346	930.342
	2	171	887.771	
	3	188	976.029	
	4	187	970.837	
	5	176	913.729	
BVI	1	174	903.346	951.109
	2	174	903.346	
	3	196	1017.562	
	4	186	965.645	
	5	186	965.645	
BVII	1	191	991.603	856.621
	2	192	996.795	
	3	196	1017.562	
	4	97	503.589	
	5	149	773.554	



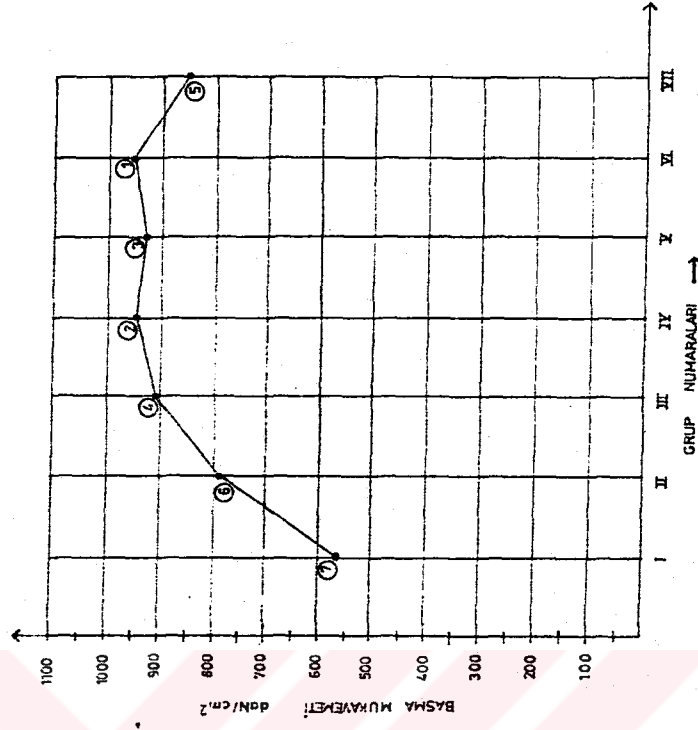
Şekil 5.48.a Reçine-dolgu oranı %18-%82 numunelerin basma deneyi yük dağılımları



Şekil 5.48.b Reçine-dolgu oranı %18-%82 numunelerin basma deneyi yük dağılım ortalamaları



Şekil 5.49.a Reçine-dolgu oranı %18-%82 numunelerin basma deneyi gerilme dağılımları



Şekil 5.48.b Reçine-dolgu oranı %18-%82 numunelerin basma deneyi gerilme dağılım ortalamaları

### 5.6.1.3 Reçine-Dolgu Oranları %22-%78 Olan Numunelerin Basma Deney Sonuçları

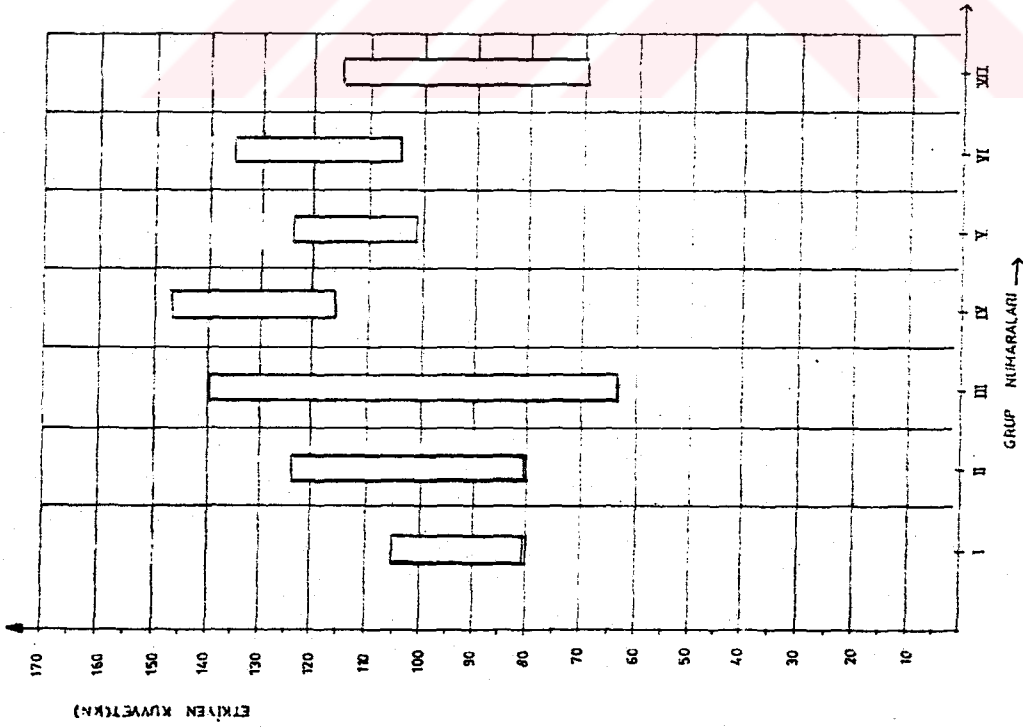
Burada, Tablo 5.20 ile, numunelere etkiyen yük değerleri (kN), bunlara karşılık gerilme değerleri ( $\text{daN/cm}^2$ ) ve ortalama gerilme değerleri verilmiştir. Bu sonuçlara göre; Şekil 5.50-a ile, yük-grup numaraları eksenlerinde "yük dağılımları", Şekil 5.50-b ile "yük dağılımlarının ortalamaları", Şekil 5.51-a ile "gerilme dağılımları" ve Şekil 5.51-b ile de "gerilme dağılımlarının ortalamaları" her bir grup için grafik olarak verilmiştir.



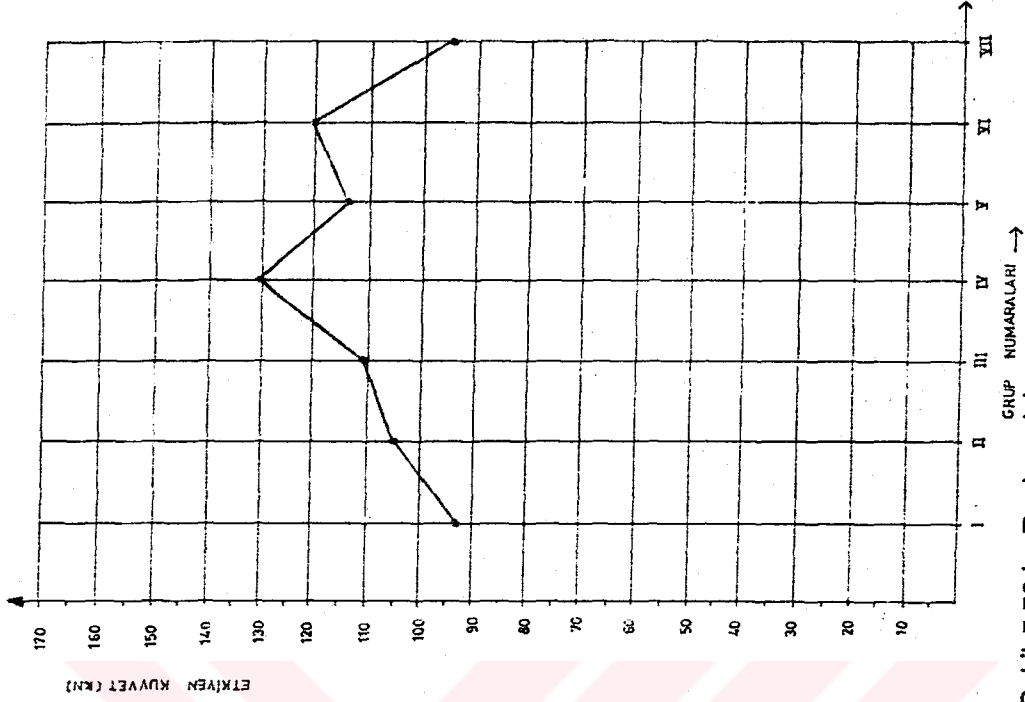
Tablo 5.20 Reçine-dolgu malzemeleri oranı; %22-%78 olan numunelerin basma deney sonuçları

Grup	No	Bası yükü, (kN)	Gerilme, (daN/cm <sup>2</sup> )	Ortalama, (daN/cm <sup>2</sup> )
BI	1	81	420.519	484.895
	2	88	456.861	
	3	97	503.585	
	4	105	545.118	
	5	96	498.393	
BII	1	81	420.519	545.118
	2	106	550.309	
	3	107	555.501	
	4	123	638.567	
	5	108	560.693	
BIII	1	91	472.435	580.421
	2	63	327.071	
	3	140	726.824	
	4	136	706.057	
	5	129	669.716	
BIV	1	130	674.908	683.214
	2	116	602.225	
	3	124	643.758	
	4	147	763.165	
	5	141	732.015	
BV	1	111	576.267	589.765
	2	114	591.842	
	3	123	633.375	
	4	119	617.800	
	5	102	529.543	
BVI	1	104	539.926	625.068
	2	111	576.267	
	3	135	700.866	
	4	131	680.099	
	5	121	628.183	
BVII	1	69	358.220	493.202
	2	102	529.543	
	3	114	591.842	
	4	114	591.842	
	5	76	394.561	

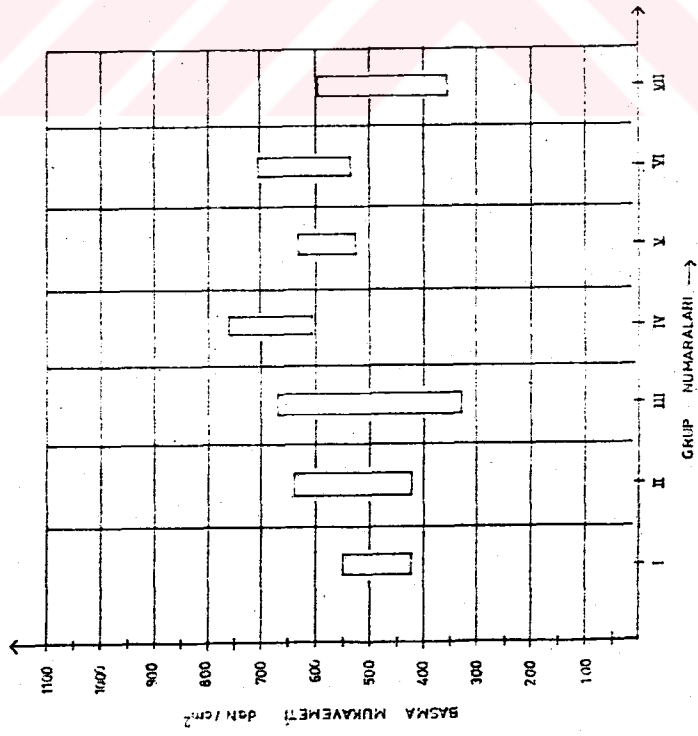




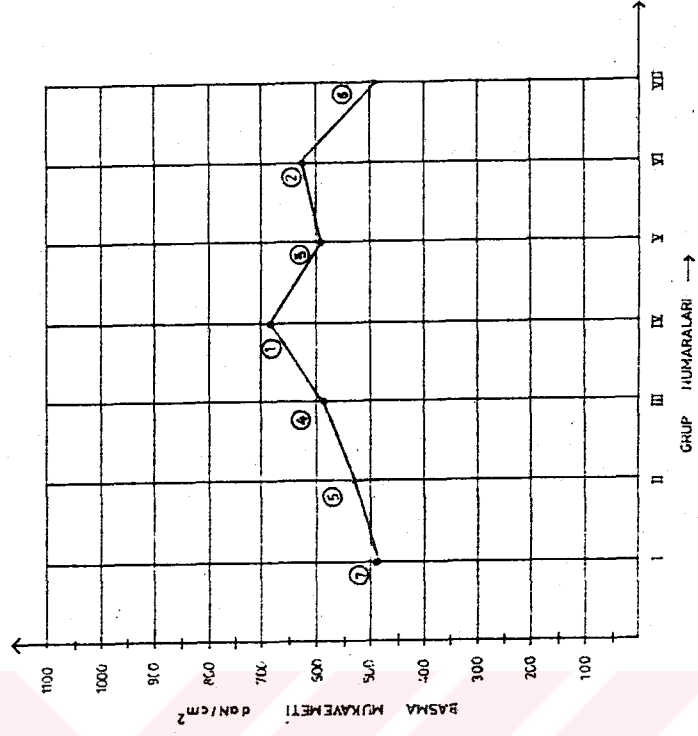
Şekil 5.50.a Reçine-dolgu oranı %22-%78 numunelerin basma deneyi yük dağılımları



Şekil 5.50.b Reçine-dolgu oranı %22-%78 numunelerin basma deneyi yük dağılım ortalamaları



Şekil 5.51.a Reçine-dolgu oranı %22-%78 numunelerin basma deneyi gerilme dağılımları



Şekil 5.51.b Reçine-dolgu oranı %22-%78 numunelerin basma deneyi gerilme dağılım ortalamaları

### 5.6.2 Eğilme Deneylerinin Yapılması ve Sonuçları

Bölüm 5.4.6'da belirtildiği şekilde hazırlanmış olan eğilme deney numuneleri, Bölüm 5.5.2'de verilmiş eğilme deney seti kullanılarak deneyleri yapıldı. Burada uygulanan yöntem; ön çalışma sonrası, belirlenen minimum ağırlıklar ile hazırlanan yükler, 3 bağlayıcı oranına göre, 7 grubun her biri için, 3'er numuneden toplam 63 numuneye, seri bir şekilde 1 kg.'lık ağırlıklar ile artırılarak uygulandı. Bu şekilde deney numuneleri üzerinde yapılmış çalışmaların sonuçları; %14.3 reçine oranı için Bölüm 5.6.2.1, %18 için Bölüm 5.6.2.2 ve % 22 için ise Bölüm 5.6.2.3'de verilmiştir. Burada belirtilmiş oranlardaki her bir grupta yer alan numunelerin eğilme yükü etkisindeki dayanımlarının dağılımı incelenerek ifade edilmiş şartlar etkisindeki "eğilme mukavemeti değerleri" belirlenmiştir.

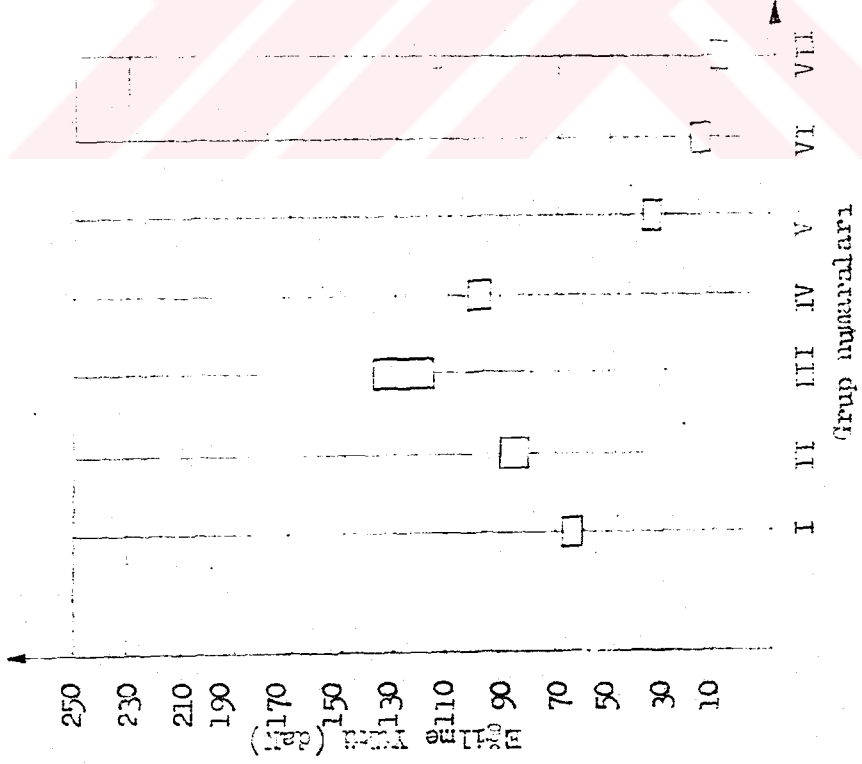


### 5.6.2.1 Reçine-Dolgu Oranı %14.3-%85.7 Olan Numunelerin Eğilme Deney Sonuçları

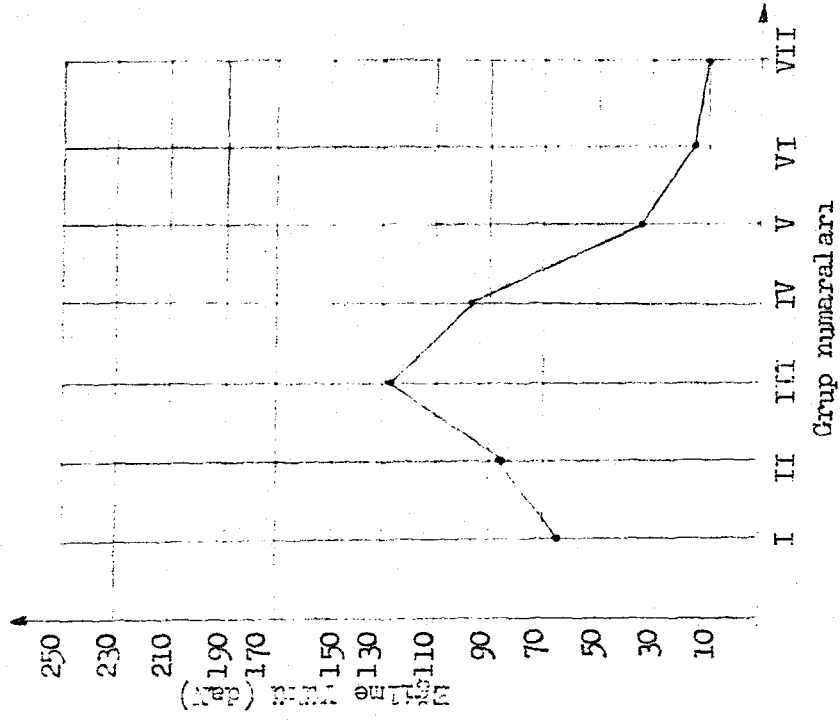
Burada, Tablo 5.21 ile, numunelere etkiyen yük değerleri (daN), bunlara karşılık gerilme değerleri (daN/cm<sup>2</sup>) ve ortalama gerilme değerleri verilmiştir. Bu sonuçlara göre; Şekil 5.52-a ile, yük-grup numaraları eksenlerinde "yük dağılımları", Şekil 5.52-b ile "yük dağılımlarının ortalamaları", Şekil 5.53-a ile "gerilme dağılımları" ve Şekil 5.53-b ile de "gerilme dağılımlarının ortalamaları" her bir grup için grafik olarak verilmiştir.

Tablo 5.21 Reçine-dolgu malzemeleri oranı; %14.3-%85.7 olan numunelerin eğilme deney sonuçları

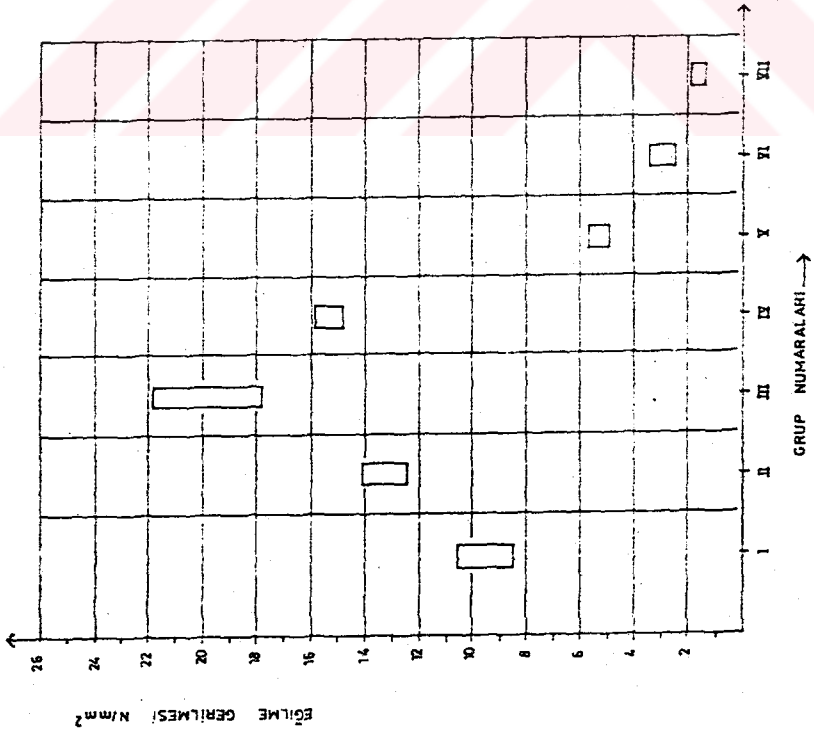
Grup	No	Eğilme yükü, (daN)	Gerilme, (daN/cm <sup>2</sup> )	Ortalama, (daN/cm <sup>2</sup> )
EI	1	68	108.225	97.084
	2	60	95.493	
	3	55	87.535	
EII	1	90	143.239	137.934
	2	90	143.239	
	3	80	127.324	
EIII	1	120	190.986	198.944
	2	140	222.817	
	3	115	183.028	
EIV	1	95	151.197	154.911
	2	95	151.197	
	3	102	162.338	
EV	1	37	58.887	56.235
	2	37	58.887	
	3	32	50.930	
EVI	1	22	35.014	29.178
	2	17	27.056	
	3	16	25.465	
EVII	1	12	19.099	16.446
	2	9	14.324	
	3	10	15.915	



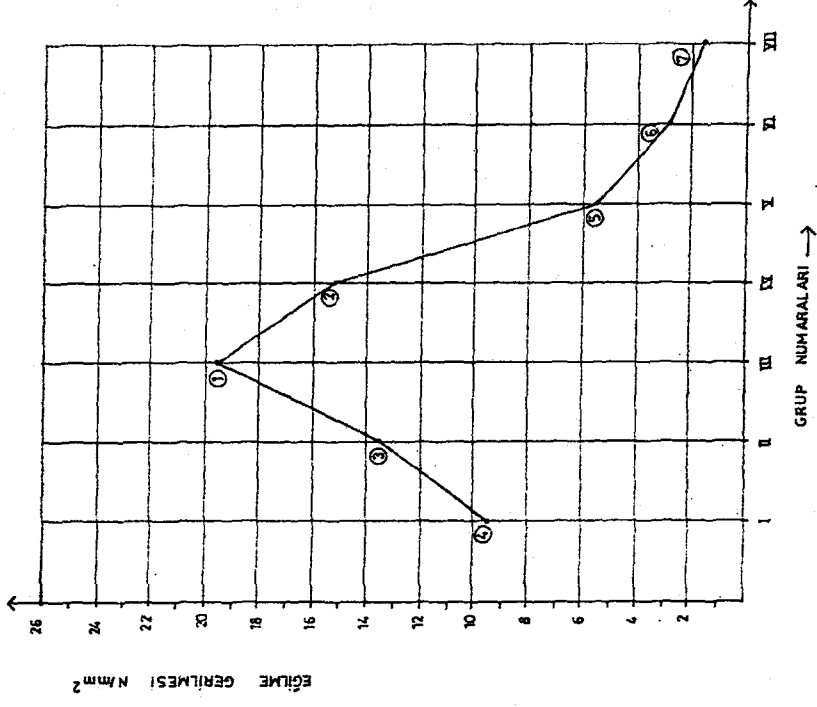
Şekil 5.52.a Reçine-dolgu oranı %14.3-%85.7 numunelerin eğilme deneyi yük dağılımları



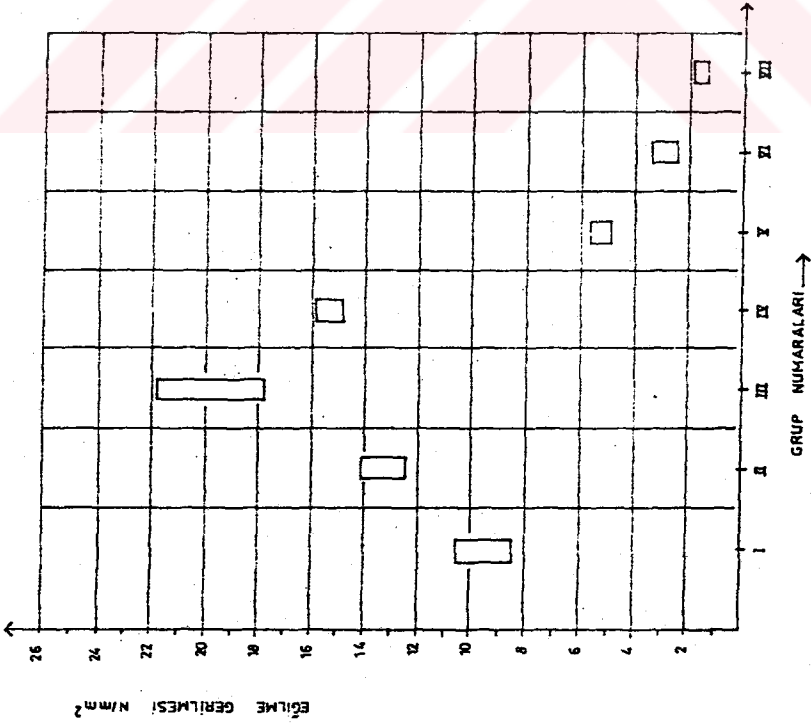
Şekil 5.52.b Reçine-dolgu oranı %14.3-%85.7 numunelerin eğilme deneyi yük ortalamaları



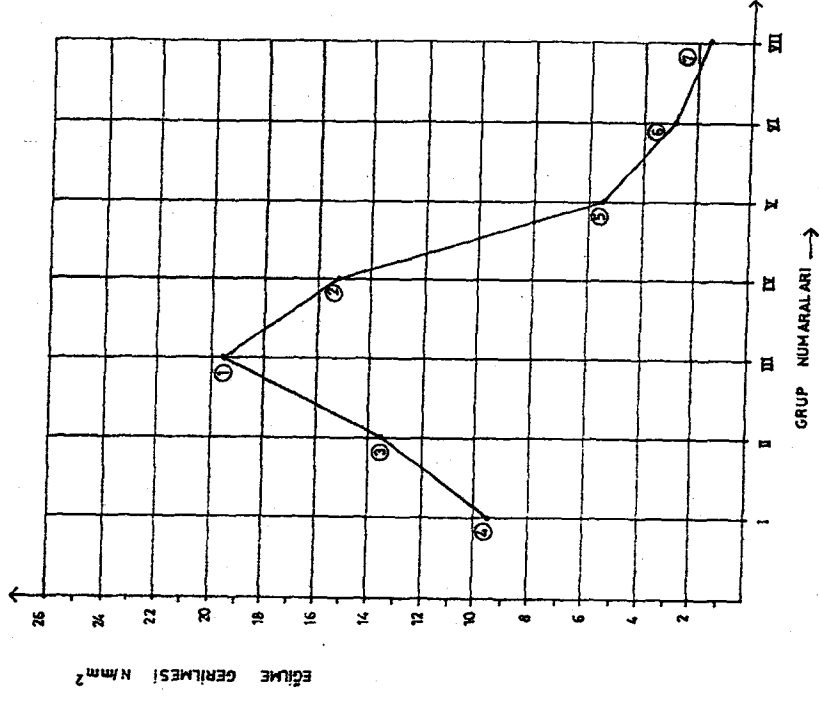
Şekil 5.53.a Reçine-dolgu oranı %14.3-%85.7 numunelerin eğilme deneyi gerilme dağılımları



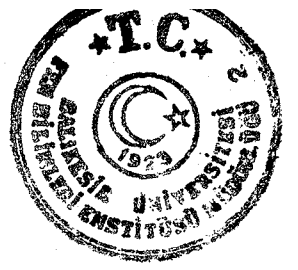
Şekil 5.53.b Reçine-dolgu oranı %14.3-%85.7 numunelerin eğilme deneyi gerilme ortalamaları



Şekil 5.53.a Reçine-dolgu oranı %14.3-%85.7 numunelerin eğilme deneyi gerilme dağılımları



Şekil 5.53.b Reçine-dolgu oranı %14.3-%85.7 numunelerin eğilme deneyi gerilme ortalamaları



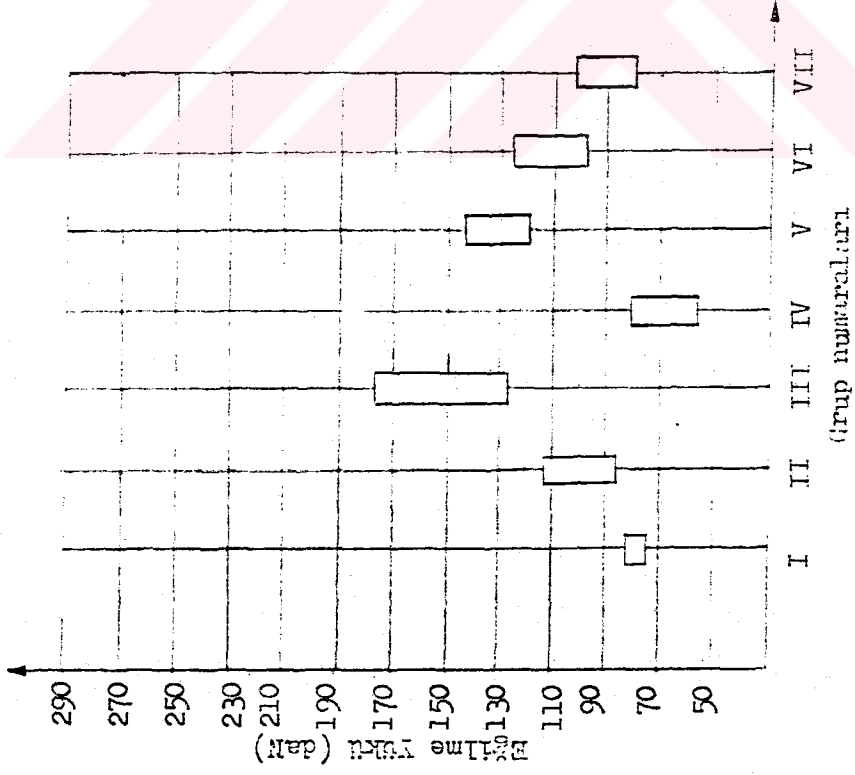
### 5.6.2.2 Reçine-Dolgu Oranı %18-%82 Olan Numunelerin Eğilme Deney Sonuçları

Burada, Tablo 5.22 ile, numunelere etkiyen yük değerleri (daN), bunlara karşılık gerilme değerleri (daN/cm<sup>2</sup>) ve ortalama gerilme değerleri verilmiştir. Bu sonuçlara göre; Şekil 5.54-a ile, yük-grup numaraları eksenlerinde "yük dağılımları", Şekil 5.54-b ile "yük dağılımlarının ortalamaları", Şekil 5.55-a ile "gerilme dağılımları" ve Şekil 5.55-b ile de "gerilme dağılımlarının ortalamaları" her bir grup için grafik olarak verilmiştir.

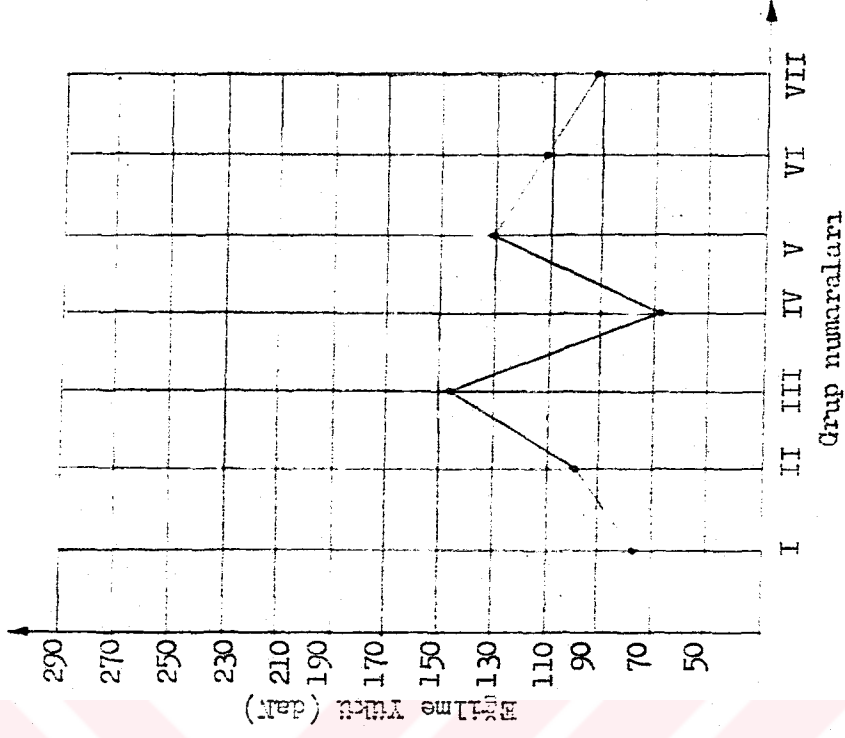
Tablo 5.22 Reçine-dolgu malzemeleri oranı; %18-%82 olan numunelerin eğilme deney sonuçları

Grup	No	Eğilme yükü, (daN)	Gerilme, (daN/cm <sup>2</sup> )	Ortalama, (daN/cm <sup>2</sup> )
EI	1	81	128.916	124.141
	2	76	120.958	
	3	77	122.549	
EII	1	87	138.465	152.258
	2	87	138.465	
	3	113	179.845	
EIII	1	134	213.268	232.897
	2	128	203.718	
	3	177	281.704	
EIV	1	81	128.916	115.653
	2	81	128.916	
	3	56	89.127	
EV	1	121	192.577	209.023
	2	128	203.718	
	3	145	230.775	
EVI	1	114	181.437	181.437
	2	127	202.127	
	3	101	160.746	
EVII	1	81	128.916	152.789
	2	106	168.704	
	3	101	160.746	

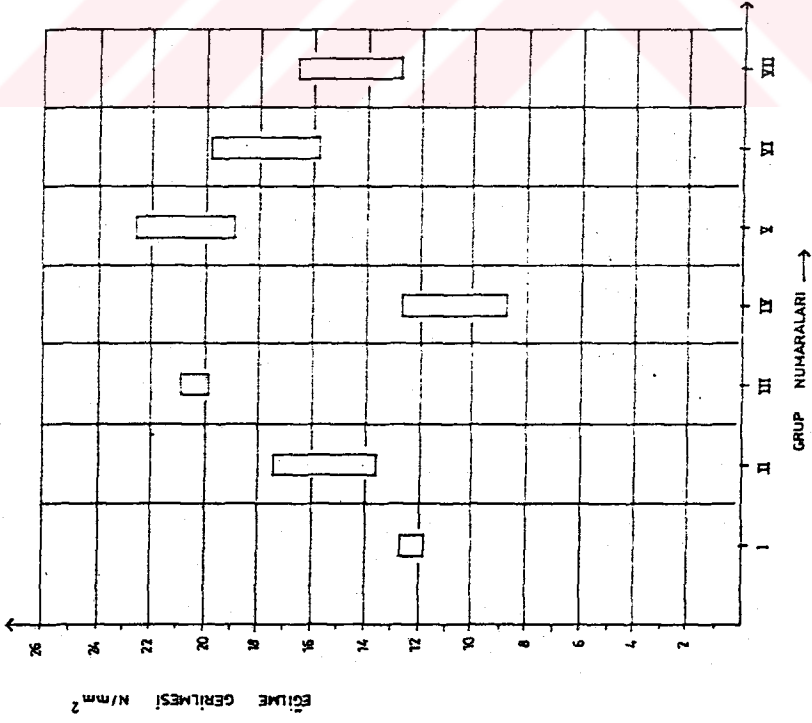




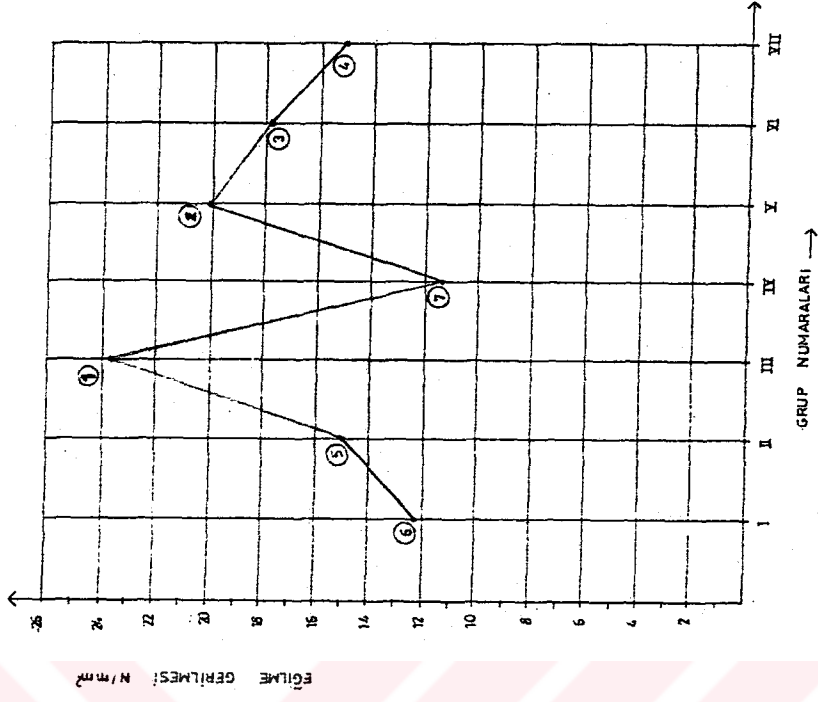
Şekil 5.54.a Reçine-dolgu oranı %18-%82 numunelerin eğilme deneyi yük dağılımları



Şekil 5.54.b Reçine-dolgu oranı %18-%82 numunelerin eğilme deneyi yük ortalamaları



Şekil 5.55.a Reçine-dolgu oranı %18-%82 numunelerin eğilme deneyi gerilme dağılımları



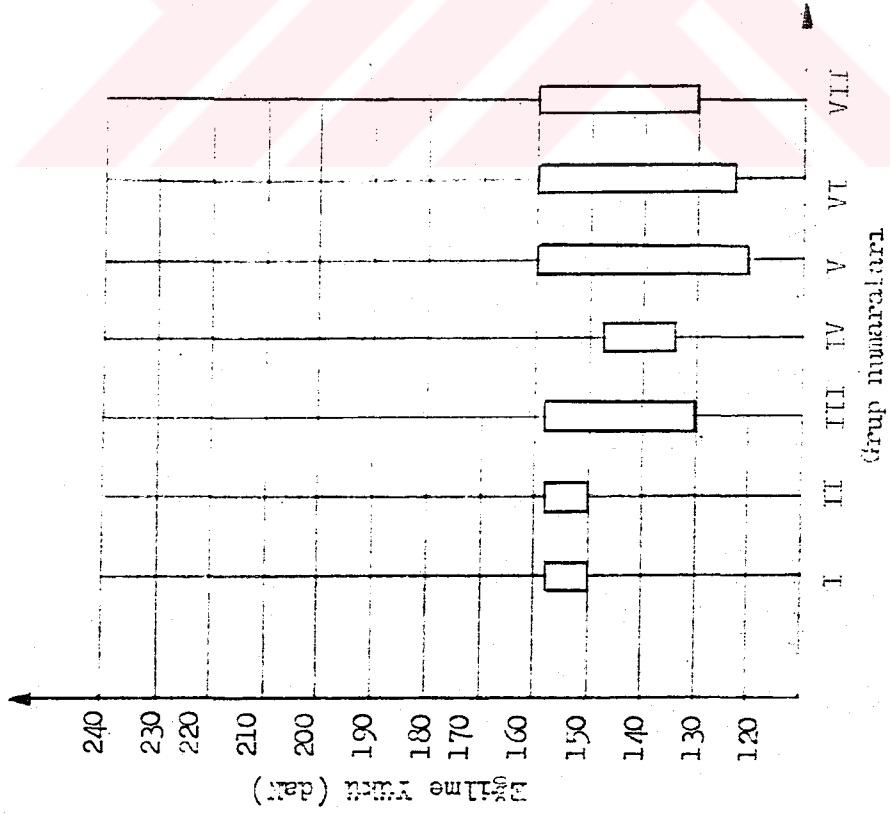
Şekil 5.55.b Reçine-dolgu oranı %18-%82 numunelerin eğilme deneyi gerilme ortalamaları

### 5.6.2.3 Reçine-Dolgu Oranı %22-%78 Olan Numunelerin Eğilme Deney Sonuçları

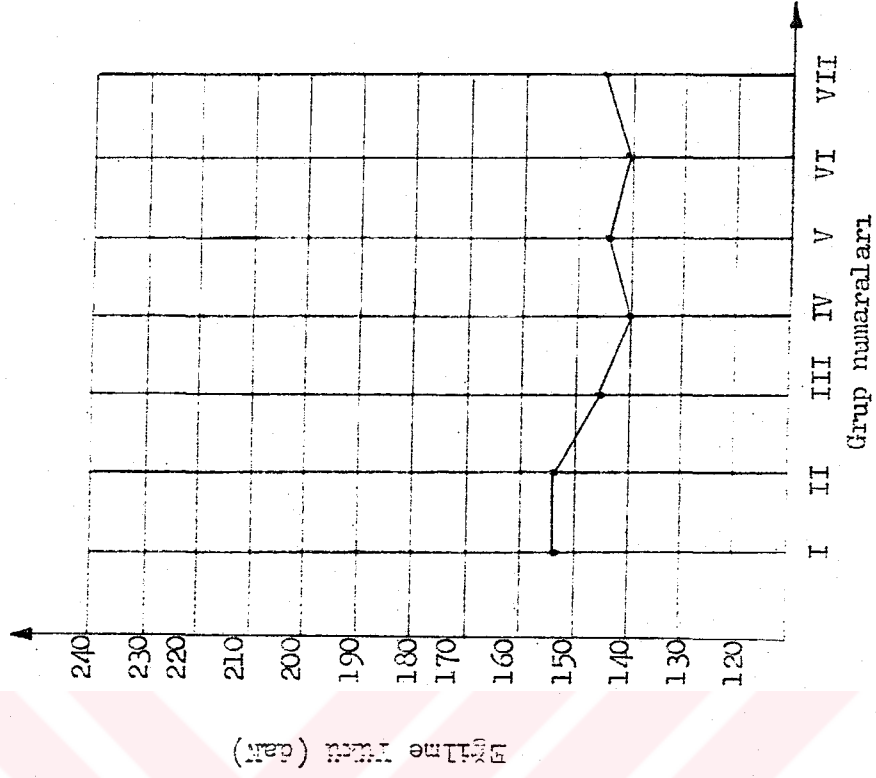
Burada, Tablo 5.23 ile, numunelere etkiyen yük değerleri (daN), bunlara karşılık gerilme değerleri (daN/cm<sup>2</sup>) ve ortalama gerilme değerleri verilmiştir. Bu sonuçlara göre; Şekil 5.56-a ile, yük-grup numaraları eksenlerinde "yük dağılımları", Şekil 5.56-b ile "yük dağılımlarının ortalamaları", Şekil 5.57-a ile "gerilme dağılımları" ve Şekil 5.57-b ile de "gerilme dağılımlarının ortalamaları" her bir grup için grafik olarak verilmiştir.

Tablo 5.23 Reçine-dolgu malzemeleri oranı; %22-%78 olan numunelerin eğilme deney sonuçları

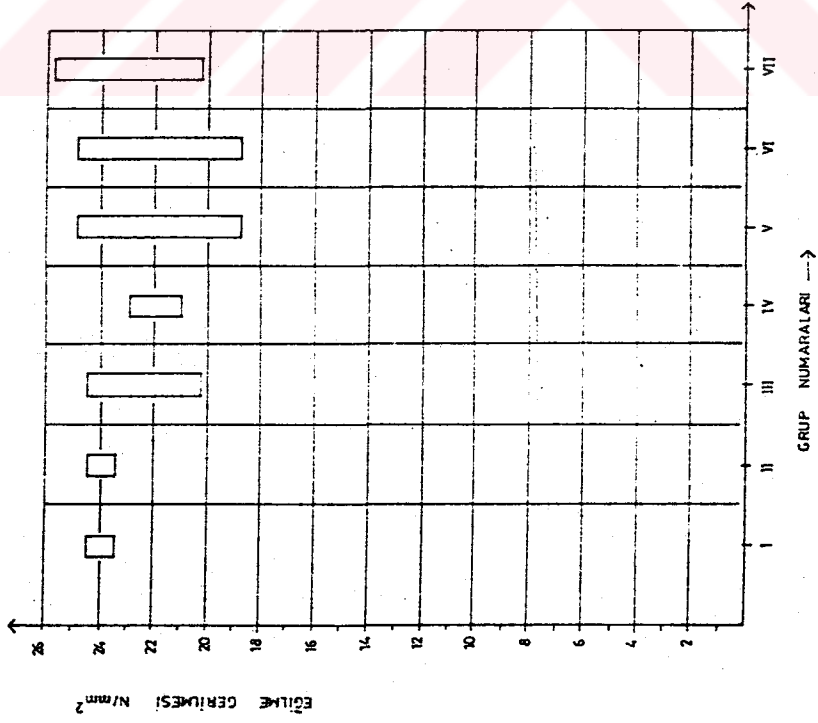
Grup	No	Eğilme yükü, (daN)	Gerilme, (daN/cm <sup>2</sup> )	Ortalama, (daN/cm <sup>2</sup> )
EI	1	157	249.873	246.159
	2	150	238.732	
	3	157	249.873	
EII	1	150	238.732	245.098
	2	157	249.873	
	3	155	246.690	
EIII	1	157	249.873	234.488
	2	155	246.690	
	3	130	206.901	
EIV	1	135	214.859	222.817
	2	138	219.634	
	3	147	233.958	
EV	1	120	190.986	231.836
	2	157	249.873	
	3	160	254.648	
EVI	1	160	254.647	224.408
	2	123	195.761	
	3	140	222.817	
EVII	1	160	254.648	241.385
	2	130	206.901	
	3	165	262.606	



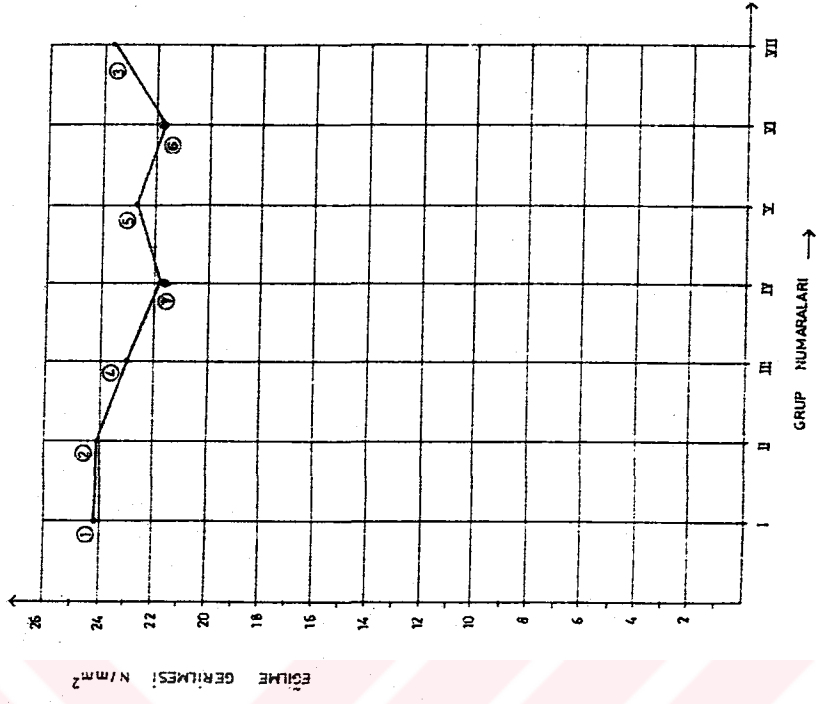
Şekil 5.56.a Reçine-dolgu oranı %22-%78 numunelerin eğilme deneyi yük dağılımları



Şekil 5.56.b Reçine-dolgu oranı %22-%78 numunelerin eğilme deneyi yük ortalamaları



Şekil 5.57.a Reçine-dolgu oranı %22-%78 numunelerin eğilme deneyi gerilme dağılımları



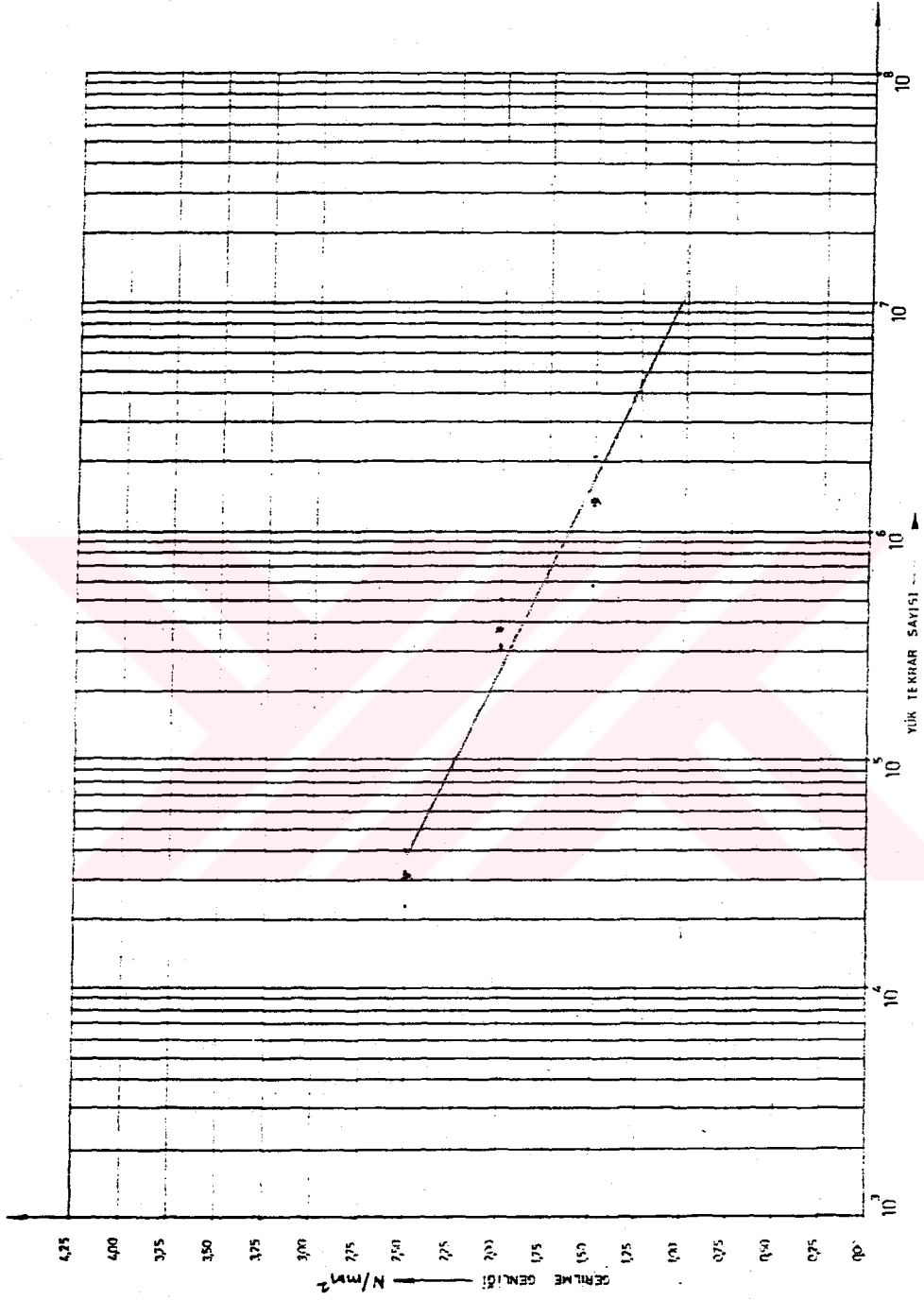
Şekil 5.57.b Reçine-dolgu oranı %22-%78 numunelerin eğilme deneyi gerilme ortalamaları

### 5.6.3 Eğilme Yorulma Deneylerinin Yapılması ve Sonuçları

Bölüm 5.4.6'da belirtildiği şekilde hazırlanmış olan deney numuneleri, Bölüm 5.5.3'de verilmiş "eğilme yorulma deney cihazı" kullanılarak test edildi. Burada öncelikle her bir grup için belirlenmiş olan %18'lik bağlayıcı oranı ile hazırlanmış deney numuneleri ile ön testlerde, ankastre numunede  $\phi 40 \times 100$  mm den etkiyen yük ile, numune dönerken eğilmeye zorlandığında maksimum 20 daN'luk bir değerin üzerine çıkılmadığı tespit edildi. Buradan hareketle yorulma deneylerinde kullanılacak maksimum yük değerlerini yapılan hesaplama sonucu, numune kesitinde 3, 2.5, 2, 1.5, 1 N/mm<sup>2</sup> lik bir eğilme gerilmesi oluşturacak şekilde yükler sırasıyla 18.850, 15.708, 12.566, 9.425, 6.283 daN şeklinde belirlendi. Numunelere uygulanan bu ön testler sonrası, yorulma dayanımını, her bir grupta, yukarıda belirlenmiş her bir yük değeri için 3'er olmak üzere 15 numune ve 7 grup için toplam 105 numune üzerinde eğilme yorulma deneyleri yapıldı. Bu şekilde deney numuneleri üzerindeki çalışmalar sonucu, elde edilmiş deney sonuçları; her bir grup için "yük tekrar sayıları" Tablo 5.24, 5.25, 5.26, 5.27, 5.28, 5.29 ve 5.30; "yorulma mukavemeti"-"yük tekrar sayılarının log. ölçekli çizilmiş haldeki" Wöhler eğrileri ise, her bir grup için sırasıyla, Şekiller 5.58, 5.59, 5.60, 5.61, 5.62, 5.63 ve 5.64 ile verilmiştir.

Tablo 5.24 YI Nolu Grubun Yorulma Deneyi ile elde edilmiş Yük Tekrar Sayıları

Eğilme Yorulma Deneyi	Yük tekrar sayıları, (devir)				
	Yük, (daN)				
	18.850	15.705	12.566	9.425	6.283
Grup No: YI	Gerilme, (N/mm <sup>2</sup> )				
	3	2.5	2	1.5	1
1	-				
2	-				
3	-				
4		4.04x10 <sup>4</sup>			
5		3.26x10 <sup>4</sup>			
6		2.3x10 <sup>4</sup>			
7			3.028x10 <sup>5</sup>		
8			5.06x10 <sup>5</sup>		
9			3.148x10 <sup>5</sup>		
10				5.767x10 <sup>5</sup>	
11				2.09x10 <sup>6</sup>	
12				1.287x10 <sup>6</sup>	
13					N>10 <sup>7</sup>
14					N>10 <sup>7</sup>
15					N>10 <sup>7</sup>

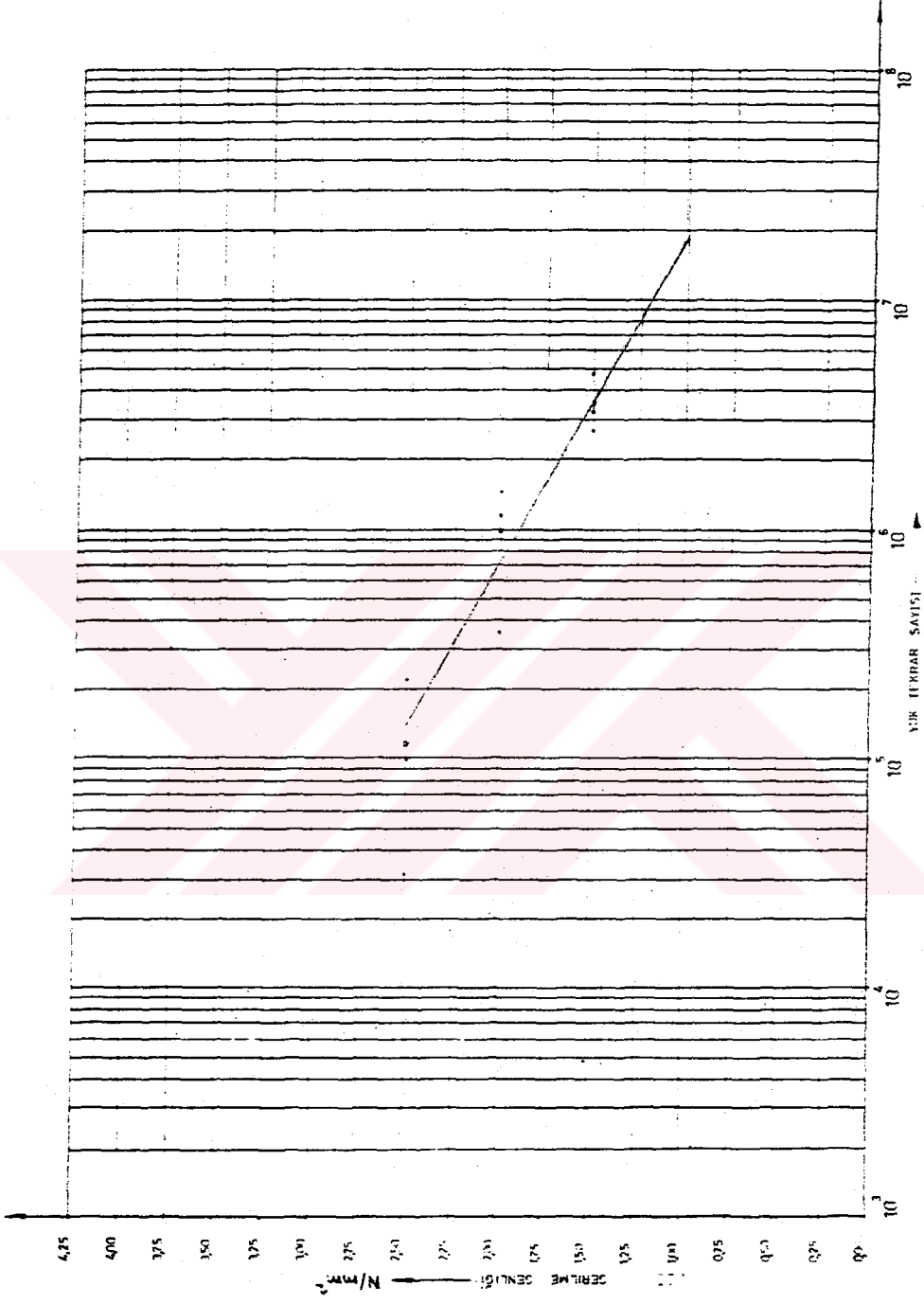


Şekil 5.58 Y1 nolu numunelerin deneyleri sonucu elde edilmiş Wöhler eğrileri



Tablo 5.25 YII Nolu Grubun Yorulma Deneyi İle elde edilmiş Yük Tekrar Sayıları

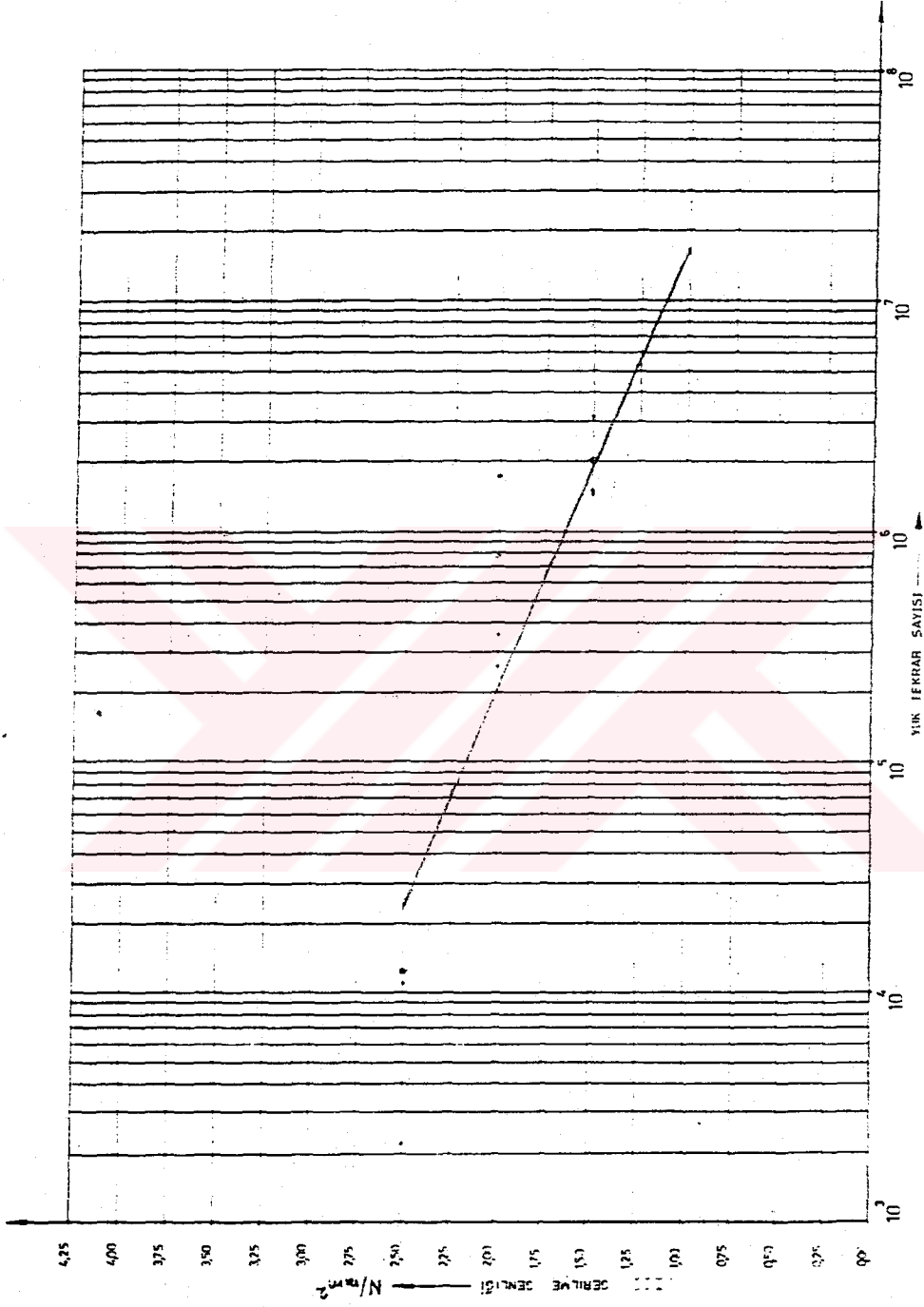
Eğilme Yorulma Deneyi	Yük tekrar sayıları, (devir)				
	Yük, (daN)				
	18.850	15.705	12.566	9.425	6.283
Grup No: YII	Gerilme, (N/mm <sup>2</sup> )				
	3	2.5	2	1.5	1
1	-				
2	-				
3	-				
4		9.82x10 <sup>4</sup>			
5		3.08x10 <sup>4</sup>			
6		2.1758x10 <sup>5</sup>			
7			1.431x10 <sup>6</sup>		
8			3.481x10 <sup>5</sup>		
9			1.1247x10 <sup>6</sup>		
10				4.719x10 <sup>6</sup>	
11				2.640x10 <sup>6</sup>	
12				3.205x10 <sup>6</sup>	
13					N>10 <sup>7</sup>
14					N>10 <sup>7</sup>
15					N>10 <sup>7</sup>



Şekil 5.59 YII nolu numunelerin deneyleri sonucu elde edilmiş Wöhler eğrileri

Tablo 5.26. YIII Nolu Grubun Yorulma Deneyi İle elde edilmiş Yük Tekrar Sayıları

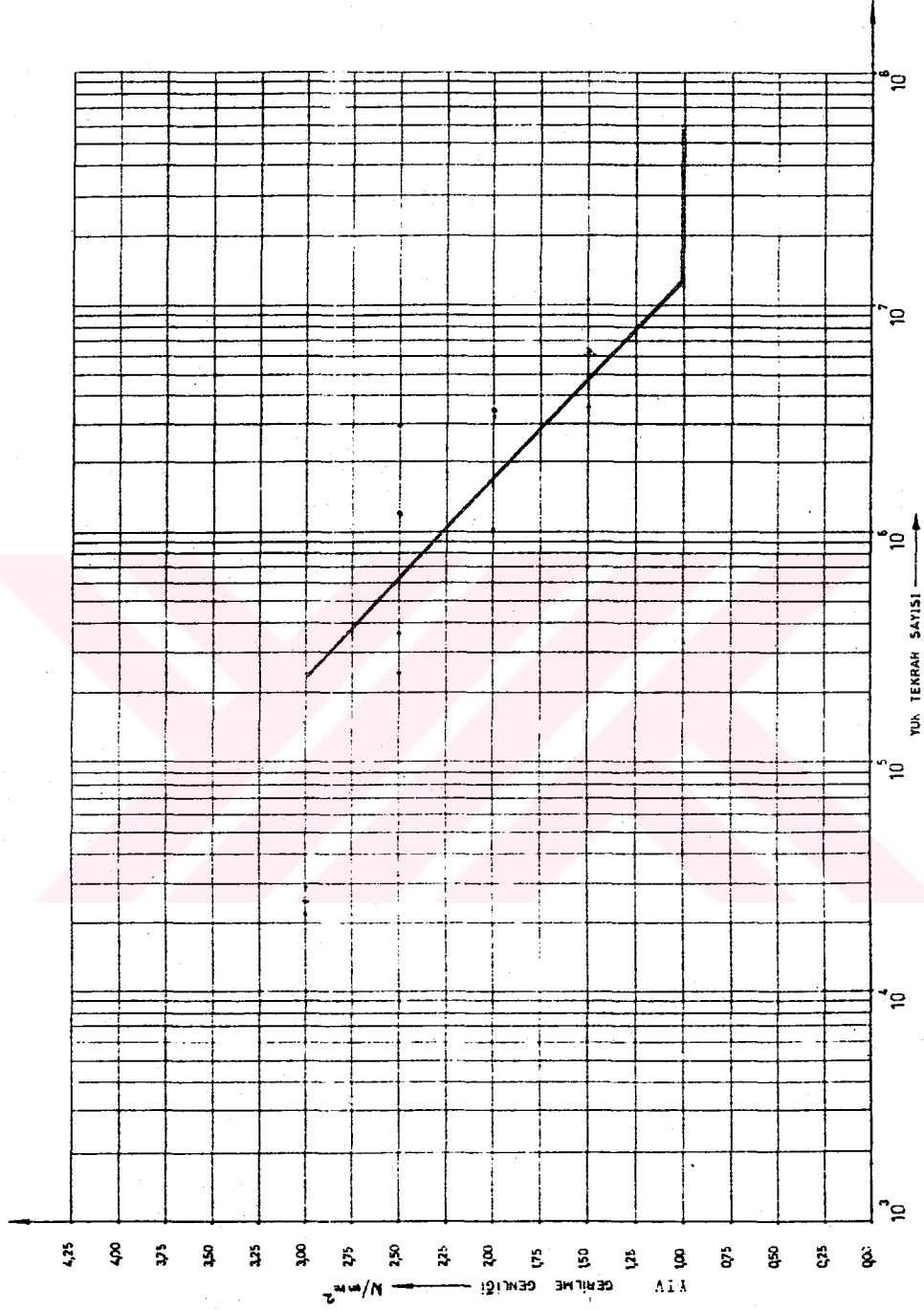
Eğilme Yorulma Deneyi	Yük tekrar sayıları, (devir)				
	Yük, (daN)				
	18.850	15.705	12.566	9.425	6.283
Grup No: YIII	Gerilme, (N/mm <sup>2</sup> )				
	3	2.5	2	1.5	1
1	-				
2	-				
3	-				
4		1.1x10 <sup>4</sup>			
5		2.2x10 <sup>3</sup>			
6		2.42x10 <sup>4</sup>			
7			1.716x10 <sup>6</sup>		
8			2.583x10 <sup>5</sup>		
9			3.554x10 <sup>5</sup>		
10				1.463x10 <sup>6</sup>	
11				3.124x10 <sup>6</sup>	
12				1.452x10 <sup>6</sup>	
13					N>10 <sup>7</sup>
14					N>10 <sup>7</sup>
15					N>10 <sup>7</sup>



Şekil 5.60 Yıllı nolu numunelerin deneyleri sonucu elde edilmiş Wöhler eğrileri

Tablo 5.27 YIV Nolu Grubun Yorulma Deneyi İle elde edilmiş Yük Tekrar Sayıları

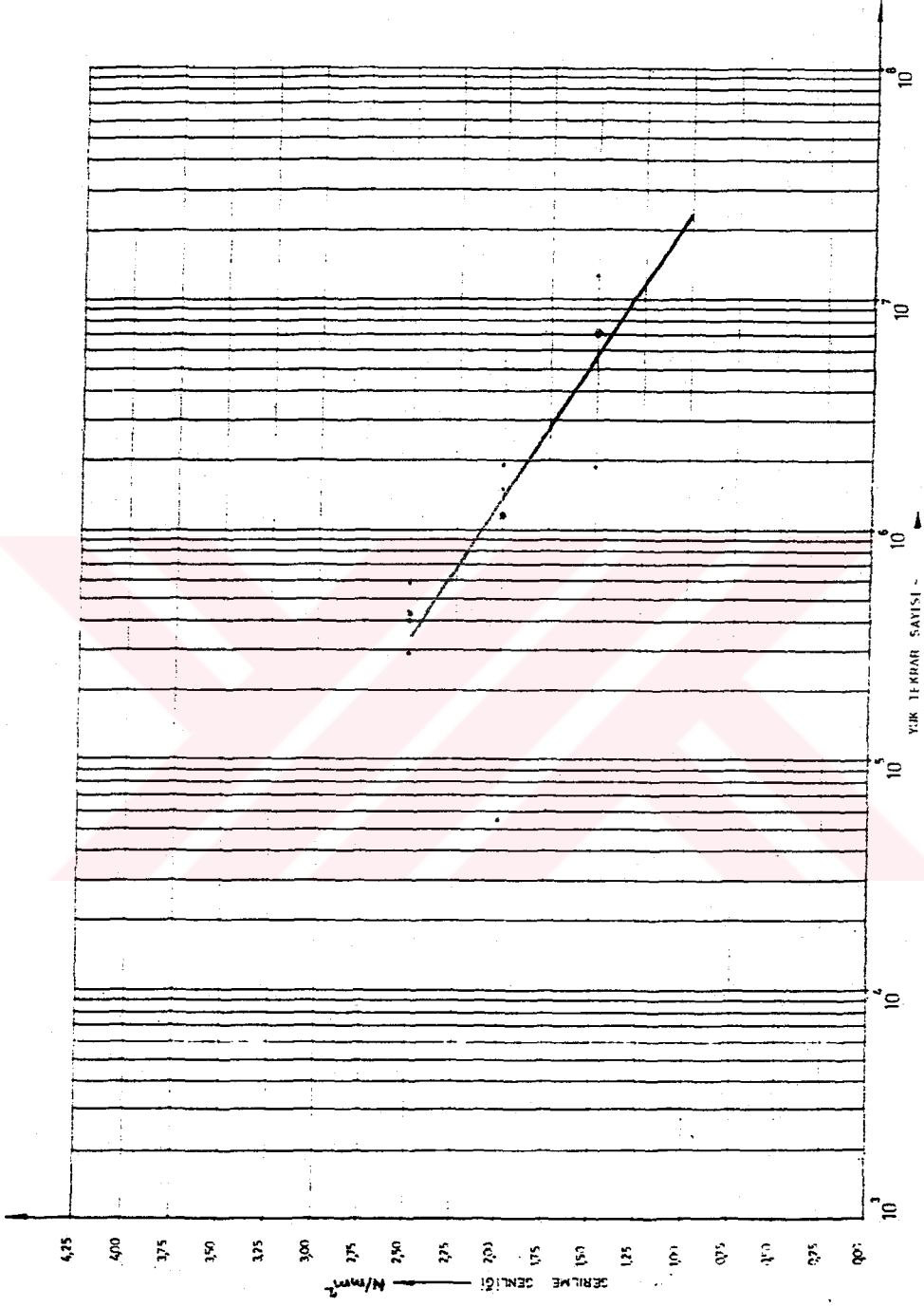
Eğilme Yorulma Deneyi	Yük tekrar sayıları, (devir)				
	Yük, (daN)				
	18.850	15.705	12.566	9.425	6.283
Grup No: YIV	Gerilme, (N/mm <sup>2</sup> )				
	3	2.5	2	1.5	1
1	2.86x10 <sup>4</sup>				
2	2.1991x10 <sup>4</sup>				
3	-				
4		2.992x10 <sup>6</sup>			
5		3.619x10 <sup>5</sup>			
6		2.428x10 <sup>5</sup>			
7			1.028x10 <sup>6</sup>		
8			3.2x10 <sup>6</sup>		
9			6.059x10 <sup>6</sup>		
10				3.52x10 <sup>6</sup>	
11				1.05618x10 <sup>7</sup>	
12				4.752x10 <sup>6</sup>	
13					N>10 <sup>7</sup>
14					N>10 <sup>7</sup>
15					N>10 <sup>7</sup>



Şekil 5.61 YIV nolu numunelerin deneyleri sonucu elde edilmiş Wöhler eğrileri

Tablo 5.28 YV Nolu Grubun Yorulma Deneyi İle elde edilmiş Yük Tekrar Sayıları

Eğilme Yorulma Deneyi	Yük tekrar sayıları. (devir)				
	Yük, (daN)				
	18.850	15.705	12.566	9.425	6.283
Grup No: YV	Gerilme, (N/mm <sup>2</sup> )				
	3	2.5	2	1.5	1
1	-				
2	-				
3	-				
4		5.94x10 <sup>5</sup>			
5		3.96x10 <sup>5</sup>			
6		2.916x10 <sup>5</sup>			
7			1.903x10 <sup>6</sup>		
8			5.5x10 <sup>4</sup>		
9			1.496x10 <sup>6</sup>		
10				1.2584x10 <sup>7</sup>	
11				1.8634x10 <sup>6</sup>	
12				7.128x10 <sup>6</sup>	
13					N>10 <sup>7</sup>
14					N>10 <sup>7</sup>
15					N>10 <sup>7</sup>

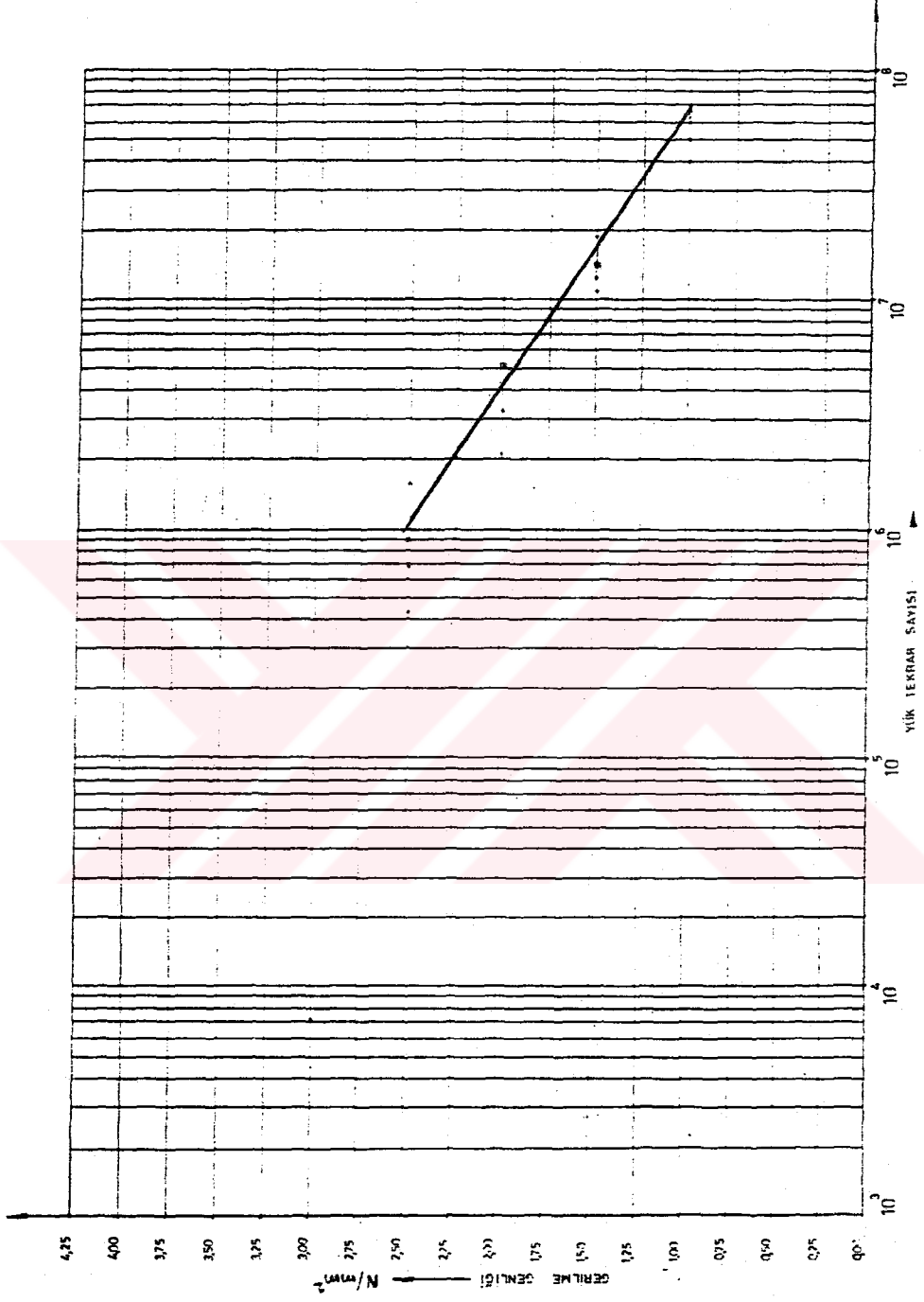


Şekil 5.62 YV nolu numunelerin deneyleri sonucu elde edilmiş Wöhler eğrileri



Tablo 5.29 YVI Nolu Grubun Yorulma Deneyi İle elde edilmiş Yük Tekrar Sayıları

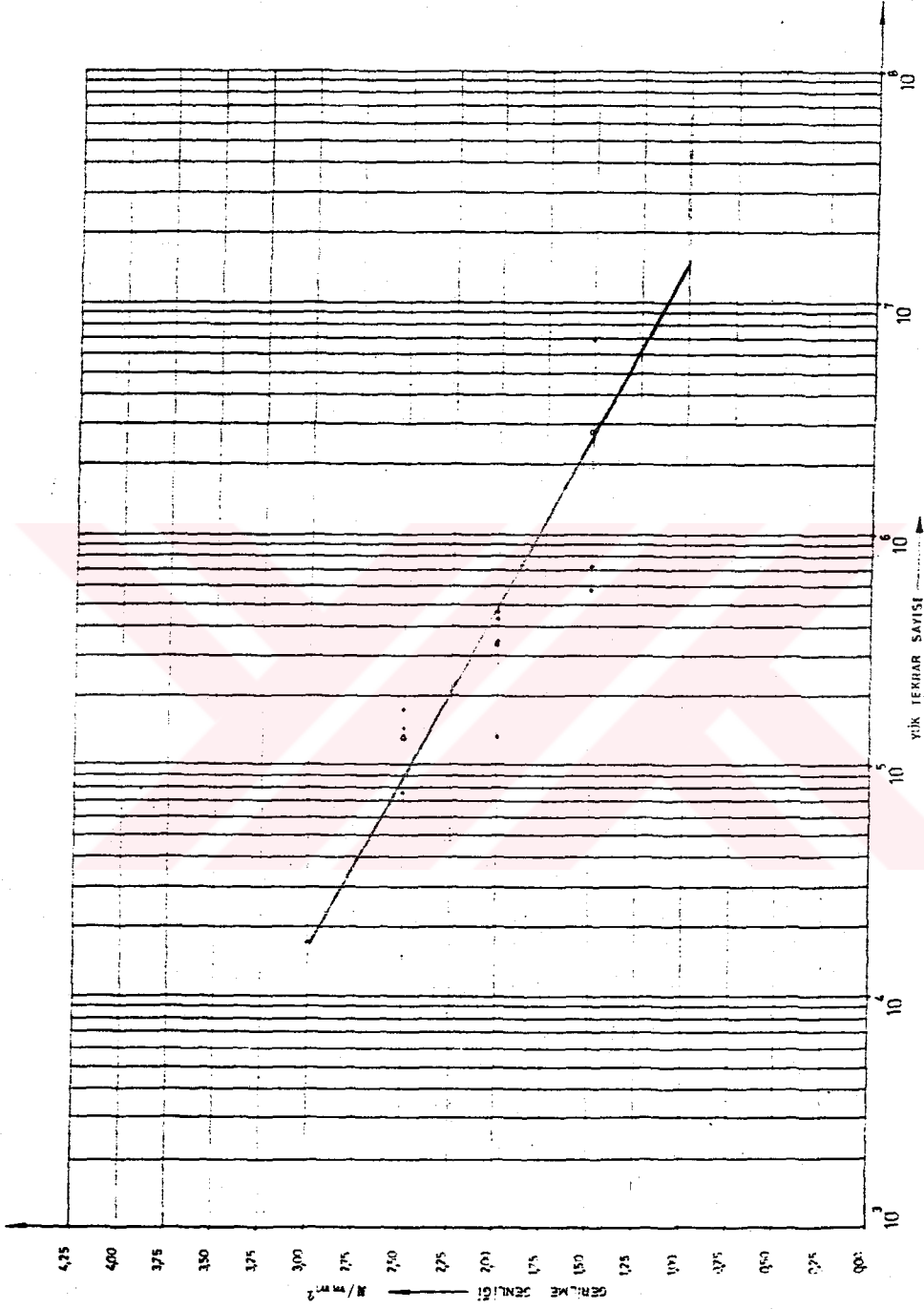
Eğilme Yorulma Deneyi	Yük tekrar sayıları, (devir)				
	Yük, (daN)				
	18.850	15.705	12.566	9.425	6.283
Grup No: YVI	Gerilme, (N/mm <sup>2</sup> )				
	3	2.5	2	1.5	1
1	7.2x10 <sup>3</sup>				
2	-				
3	-				
4		1.584x10 <sup>6</sup>			
5		6.87x10 <sup>5</sup>			
6		4.345x10 <sup>5</sup>			
7			2.112x10 <sup>6</sup>		
8			3.256x10 <sup>6</sup>		
9			N≥10 <sup>7</sup>		
10				1.2496x10 <sup>7</sup>	
11				1.09x10 <sup>7</sup>	
12				1.88x10 <sup>7</sup>	
13					N>10 <sup>7</sup>
14					N>10 <sup>7</sup>
15					N>10 <sup>7</sup>



Şekil 5.63 YVI nolu numunelerin deneyleri sonucu elde edilmiş Wöhler eğrileri

Tablo 5.30 YVII Nolu Grubun Yorulma Deneyi İle elde edilmiş Yük Tekrar Sayıları

Eğilme Yorulma Deneyi	Yük tekrar sayıları, (devir)				
	Yük, (daN)				
	18.850	15.705	12.566	9.425	6.283
Grup No: YVII	Gerilme, (N/mm <sup>2</sup> )				
	3	2.5	2	1.5	1
1	-				
2	1.76x10 <sup>4</sup>				
3	-				
4		7.6x10 <sup>4</sup>			
5		1.75x10 <sup>5</sup>			
6		1.45x10 <sup>5</sup>			
7			4.312x10 <sup>5</sup>		
8			4.62x10 <sup>5</sup>		
9			1.321x10 <sup>5</sup>		
10				6.9468x10 <sup>6</sup>	
11				5.72x10 <sup>5</sup>	
12				7.189x10 <sup>5</sup>	
13					N>10 <sup>7</sup>
14					N>10 <sup>7</sup>
15		-			N>10 <sup>7</sup>



Şekil 5.64 YVII nolu numunelerin deneyleri sonucu elde edilmiş Wöhler eğrileri

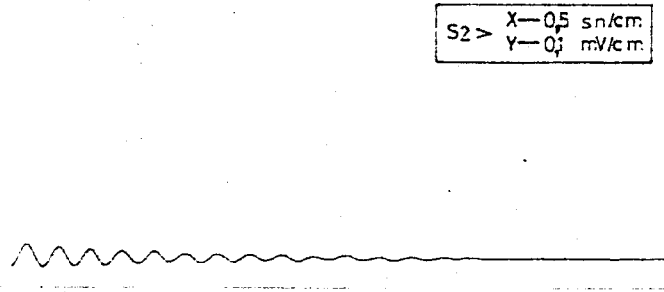
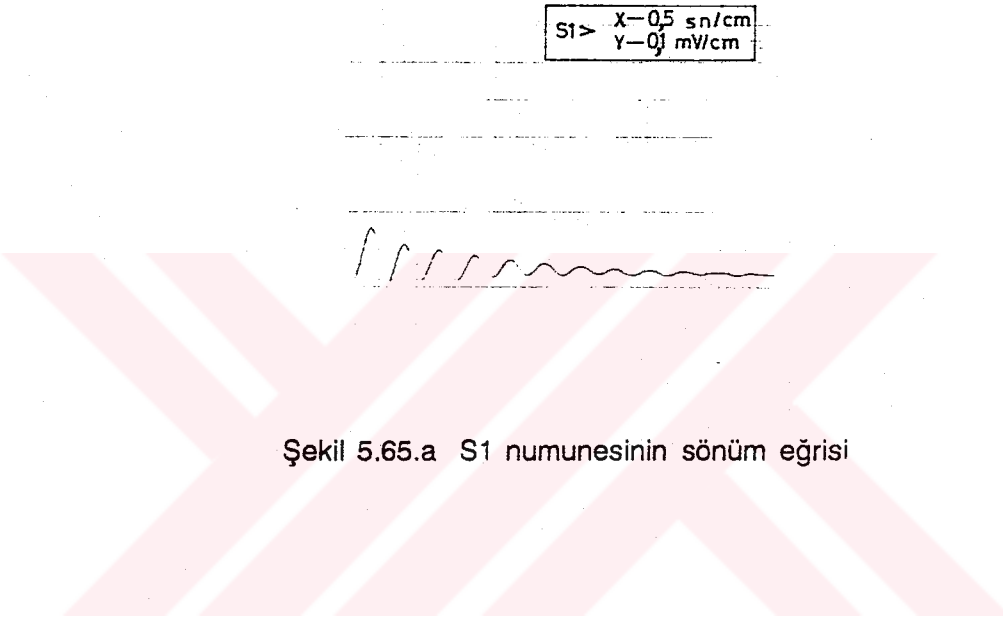
#### 5.6.4 Sönüm DeneYlerinin Yapılması ve Sonuçları

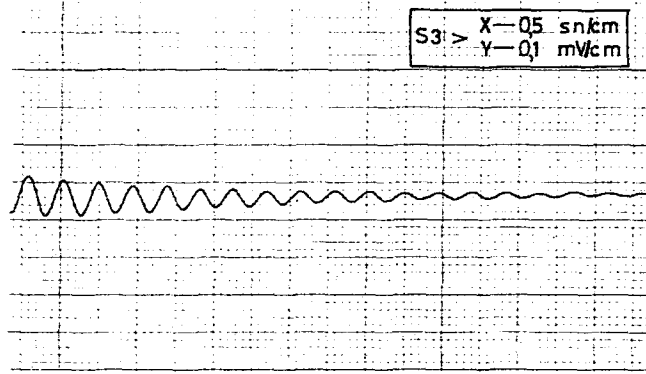
Bölüm 5.4.6'da hazırlanmış olan deney numuneleri, Bölüm 5.5.4'de, Şekil 5.43 ile verilmiş deney seti kullanılarak test edildi. Çalışmada, her bir sönüm deney numunesinde elde edilmiş sönüm eğrileri üzerinden, 12 genlik değeri ölçümü alındı. Bu değerlere göre D ile ifade edilmiş sönüm ölçütü, logaritmik azalma hesabıyla belirlendi. Burada test edilen deney numuneleri, eğilme yorulma deney sonuçlarına göre, en iyi yorulma dayanımı veren belirlenmiş 3 grup için, 3'erden 9 numune üzerinde yapılmıştır. Deney sonuçları ise her bir deney grubu için verilmiştir. Bunlar, IV, V ve VI. grupların bileşimleri ve bağlayıcı-dolgu malzemesi oranı (%18-82) ile IV. grup için S1, S2, S3; V. grup için S4, S5, S6 ve VI. grup için ise S7, S8, S9 şeklinde isimlendirildi.

Numunelerin test sonuçları, IV. grup için Bölüm 5.6.4.1; V. grup için Bölüm 5.6.4.2 ve VI. grup için ise Bölüm 5.6.4.3 ile verilmiştir.

#### 5.6.4.1 IV. Grup S1, S2, S3 Nolu Deney Numunelerinin Test Sonuçları

S1, S2 ve S3 numunelerin testleri sonucu elde edilmiş eğriler sırasıyla, Şekil 5.65.a, b c ve bu "sönüm eğrilerinin" inceleme sonuçları ise, Tablo 5.31 ile verilmiştir.





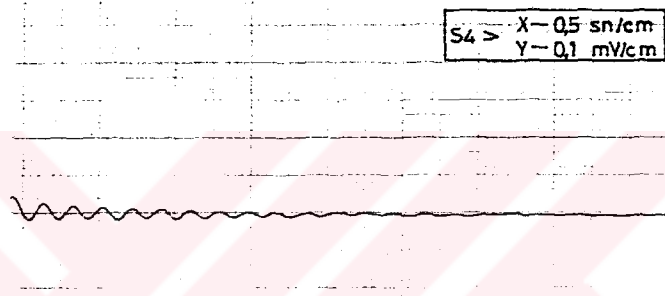
Şekil 5.65.c S3 numunesinin sönüm eğrisi

Tablo 5.31 S1, S2 ve S3 numuneleri sönüm eğrilerinin inceleme sonuçları

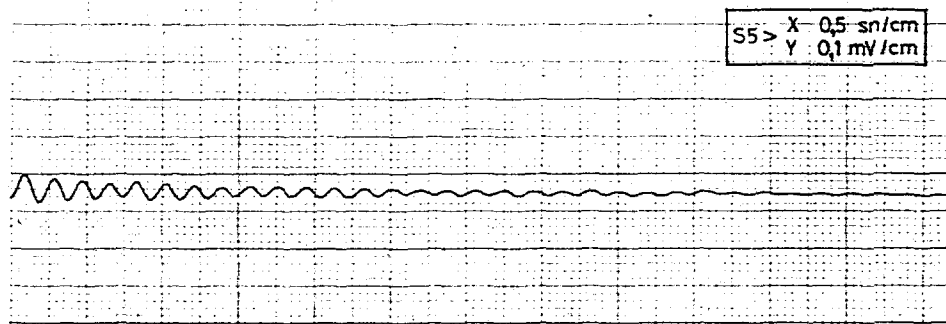
Sönüm Eğrileri Genlik değerleri	Numuneler		
	S1	S2	S3
X1	3.2775	1.9225	2.7075
X2	2.8900	1.8275	2.5775
X3	2.6825	1.6975	2.5050
X4	2.3725	1.5675	2.3875
X5	2.0450	1.5000	2.2500
X6	1.6975	1.3325	2.1425
X7	1.4200	1.2175	2.0325
X8	1.1375	1.1325	1.9300
X9	1.0050	1.0350	1.7925
X10	0.8475	0.8275	1.7025
X11	0.6800	0.7375	1.5425
X12	0.5100	0.7150	1.4575
D	0.050061977	0.030497767	0.017908789

#### 5.6.4.2 V. Grup S4, S5, S6 Nolu Deney Numunelerinin Test Sonuçları

S4, S5 ve S6 numunelerin testleri sonucu elde edilmiş eğriler sırasıyla, Şekil 5.66.a, b ve c ve bu "sönüm eğrilerinin" inceleme sonuçları ise, Tablo 5.32 ile verilmiştir.

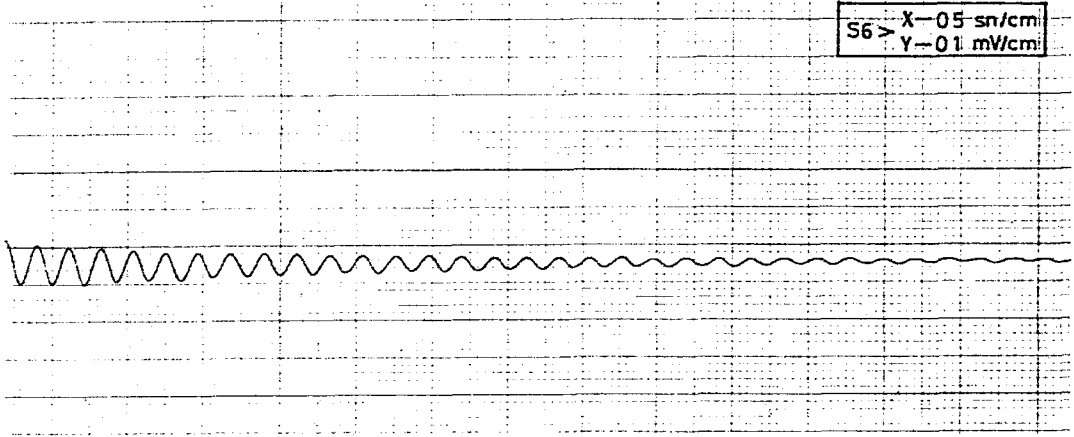


Şekil 5.66.a S4 numunesinin sönüm eğrisi



Şekil 5.66.b S5 numunesinin sönüm eğrisi





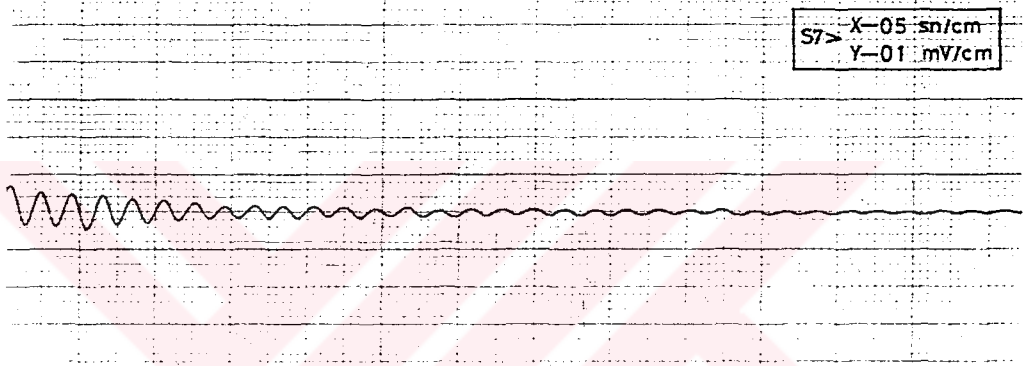
Şekil 5.66.c S6 numunesinin sönüm eğrisi

Tablo 5.32 S4, S5 ve S6 numuneleri sönüm eğrilerinin inceleme sonuçları

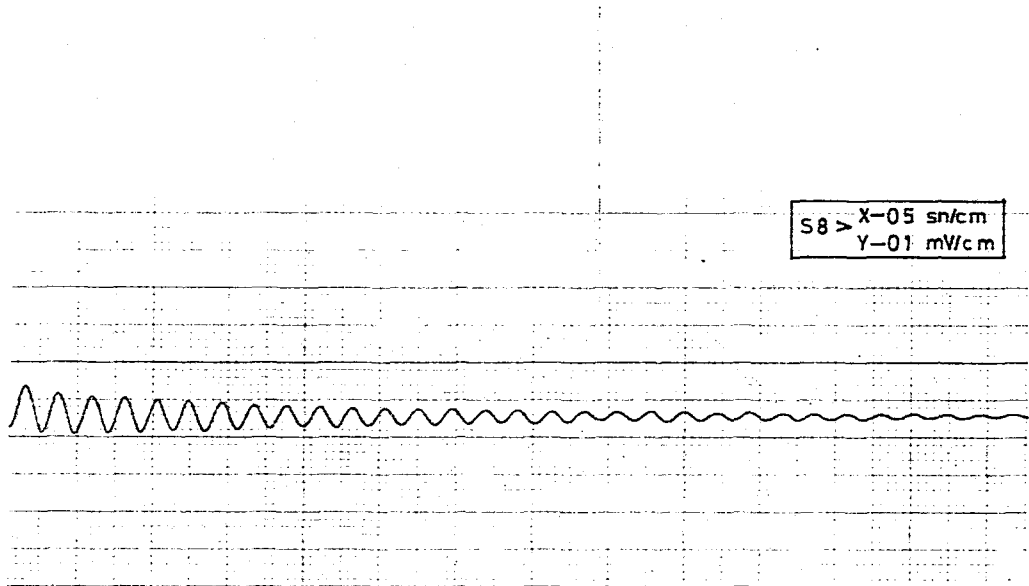
Sönüm Eğrileri Genlik değerleri	Numuneler		
	S4	S5	S6
X1	1.4350	1.4200	3.2525
X2	1.2775	1.3350	3.1500
X3	1.1750	1.2525	2.7000
X4	1.0250	1.1300	2.5425
X5	1.0125	1.0000	2.5050
X6	1.0100	0.8350	2.465
X7	0.8500	0.7900	2.415
X8	0.7900	0.7700	2.195
X9	0.7800	0.7575	2.0600
X10	0.7500	0.7425	1.9975
X11	0.6725	0.7650	1.9650
X12	0.5975	0.7925	1.9100
D	0.024125279	0.019688622	0.05268717

### 5.6.4.3 VI. Grup S7, S8, S9 Nolu Deney Numunelerinin Test Sonuçları

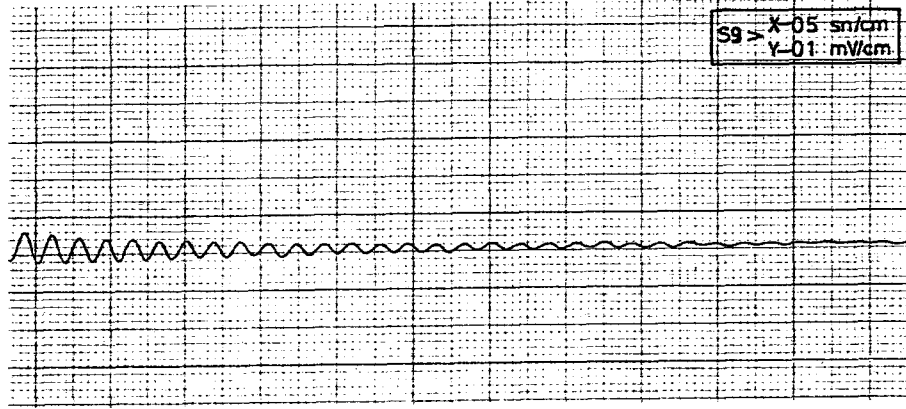
S7, S8 ve S9 numunelerin testleri sonucu elde edilmiş eğriler sırasıyla, Şekil 5.67.a, b c ve bu "sönüm eğrilerinin" inceleme sonuçları ise, Tablo 5.33 ile verilmiştir.



Şekil 5.67.a S7 numunesinin sönüm eğrisi



Şekil 5.67.b S8 numunesinin sönüm eğrisi

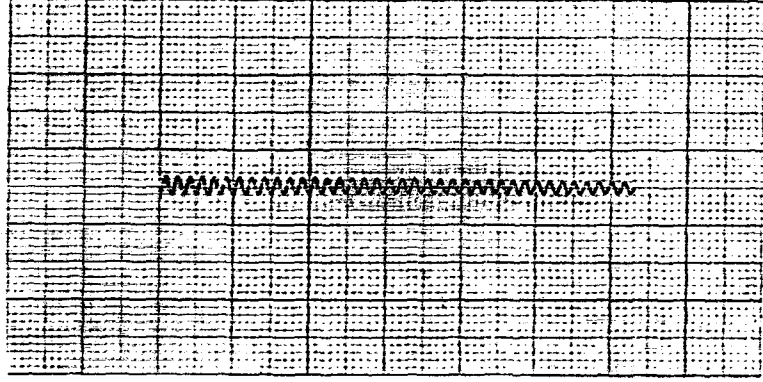


Şekil 5.67.c S9 numunesinin sönüm eğrisi

Tablo 5.33 S7, S8 ve S9 numuneleri sönüm eğrilerinin inceleme sonuçları

Sönüm Eğrileri Genlik değerleri	Numuneler		
	S1	S2	S3
X1	3.0750	3.5700	2.2600
X2	2.8800	3.4575	2.1675
X3	2.6050	3.2800	2.0175
X4	2.3400	3.2000	1.9950
X5	2.1175	3.0950	1.9400
X6	2.0000	2.9500	1.8125
X7	1.6225	2.8750	1.7275
X8	1.5150	2.8275	1.6525
X9	1.2825	2.6825	1.6050
X10	1.2350	2.6250	1.5350
X11	1.1700	2.4050	1.4825
X12	1.0425	2.3725	1.4550
D	0.03075832	0.01257374	0.01342106

## 5.6.4.4 Dökme Demir Deney Numunesi Test Sonuçları



Şekil 5.68 Dökme demirin sönüm eğrisi

Sönüm eğrisi,  $X=0.2$  sn/cm alınmış ve sönüm eğrisi üzerinden sönüm sabiti  $D$  değeri 0.004261 olarak elde edilmiştir.

## 5.7 DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapılan teorik araştırmalarda, daha çok inşaat yapı malzemesi olarak kullanılan polimer betonun makina yapı malzemesi olarak da kullanılabilirliği konusunda özellikle gelişmiş ülkelerde kaydadeğer çalışmaların olduğu görülmüştür. Başlangıçta tezgah gövdesi yapımı malzemesi olarak düşünölen polimer beton iyileştirilen mekanik özellikleri ile diğer makina elemanları yapımında da kullanılabilereği görölmektedir.

Farklı reçine ve dolgu malzemeleri kullanılarak değişik yapıda elde edilebilen polimer betonun özellikleri de farklı olmaktadır.

Polimer beton imalatında günümüze kadar kullanıla gelen reçine çeşitleri arasında "epoksi", dolgu malzemeleri çeşidi olarak "kuvarz" ın bir çok özellik ağıısından en uygun yapı malzemeleri olduğu görülmüştür.

Bunun yanında reçine–dolgu malzemesi oranı ve dolgu malzemelerinin tane boyutları da polimer betonun özelliklerini etkilemektedir.

Bu çalışmada polimer beton, makina yapım malzemesi olarak kullanılabilirliği ağıısından ele alınmış basma, eğilme ve sönömleme gibi fiziksel özelliklerin en iyi olduğu bir yapı terkininin tesbitine çalışılmış ve bu terkipteki bir polimer betonunun makina tasarımıında ön plana çıkan yorulma dayanımının belirlenmesine çalışılmıştır.

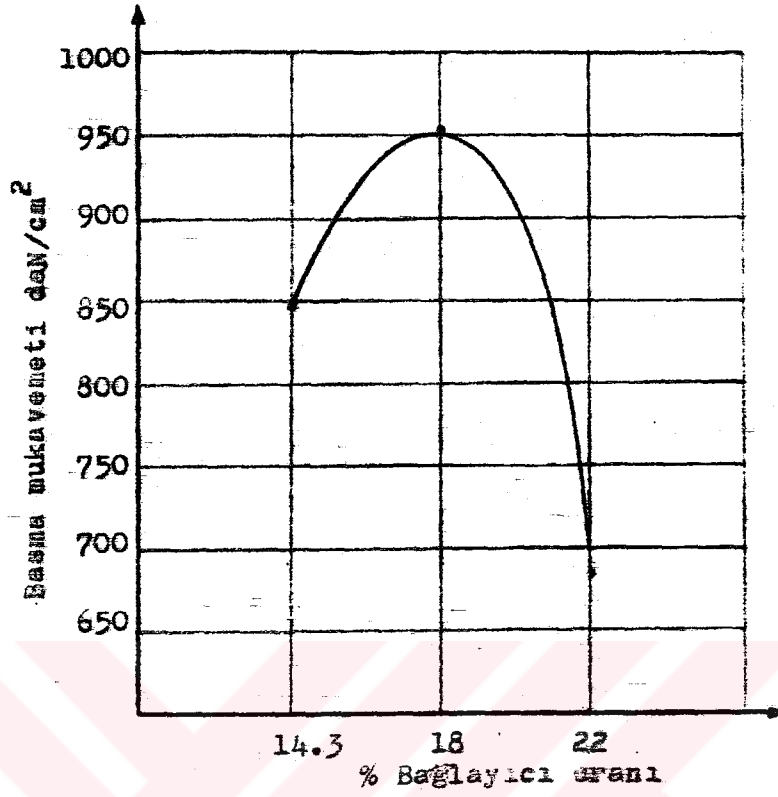
Bu amaçla yapılan deneysel çalışmaların sonuçları ve bu sonuçların analizi aşağıda verilmiştir.

### Basma Deneyi Sonuçlarının Analizi:

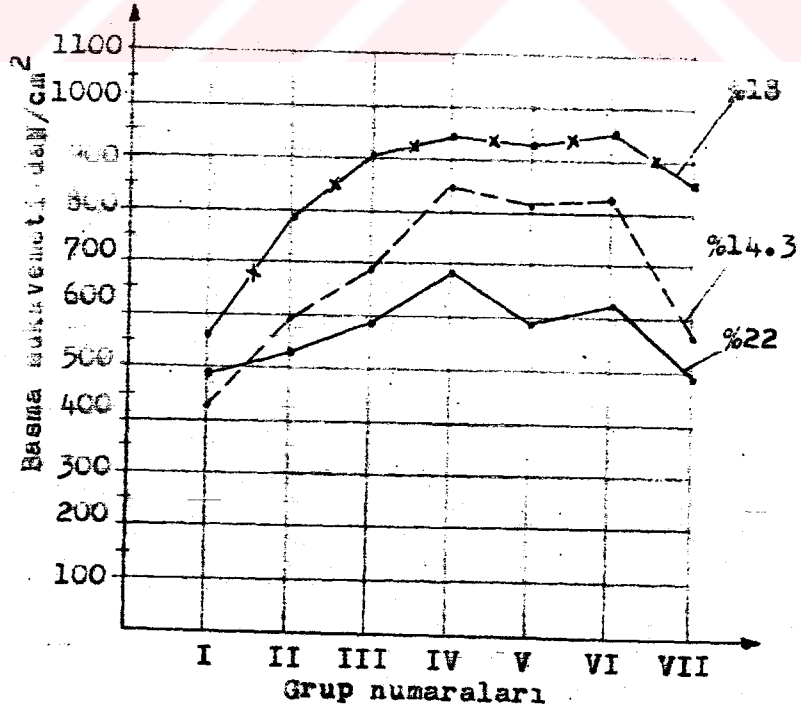
Farklı reçine ve dolgu malzemesi oranları için bulunmuş basma mukavemeti değerlerini karşılaştırabilmek için, Bölüm 5.6.1'de elde edilmiş deney sonuçları, basma mukavemetinin % bağlayıcı oranı ile değişimi Şekil 5.69'da, gruplar ile basma mukavemeti değerimleri ise Şekil 5.70'de verilmiştir.

Bu grafiklerden de görölebileereği gibi en büyük basma dayanımı değerleri %18–82, reçine–dolgu oranı karışımında 950 daN/cm<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir.

Bu sonuçlar daha önce yapılmış farklı reçine tipleri içinde bulunmuş değerlerle de uyum sağlamaktadır.



Şekil 5.69 Basma mukavemetinin % bağlayıcı oranı ile değişimi



Şekil 5.70 Basma mukavemetinin gruplara göre değişimi

Şekil 5.70'den basma dayanımının tane boyutları oranlarıyla da değiştiği görülmektedir. En büyük basma dayanımı değerleri IV ve VI no'lu gruplarda elde edilmiştir.

Deney sistematğine zıtlık arzeden V no'lu gruptaki belirgin sapmaya, bu grupta kullanılan dolgu malzemesi tane büyüklüğü ve oranlarının yapı içindeki dağılımında özellikle basma mukavemetini azaltan bir yapı oluşumunun neden olduğu söylenebilir.

Konu ile ilgili yapılmış araştırmalarda basma dayanımının, maksimum dolgu oranlarında kullanılan reçine tipine de bağlı olarak değiştiği, karışımların ıslatma özelliğini arttıran katkı maddelerinin ilave edilmesiyle epoksi reçinede bu oranın %93'lere kadar çıkabileceği belirtilmiştir. Dolgu oranlarının maksimum seviyede olması, karışımın maliyetinin maksimum olması anlamına gelir. Buna karşılık mukavemetin azalacağı açıktır.

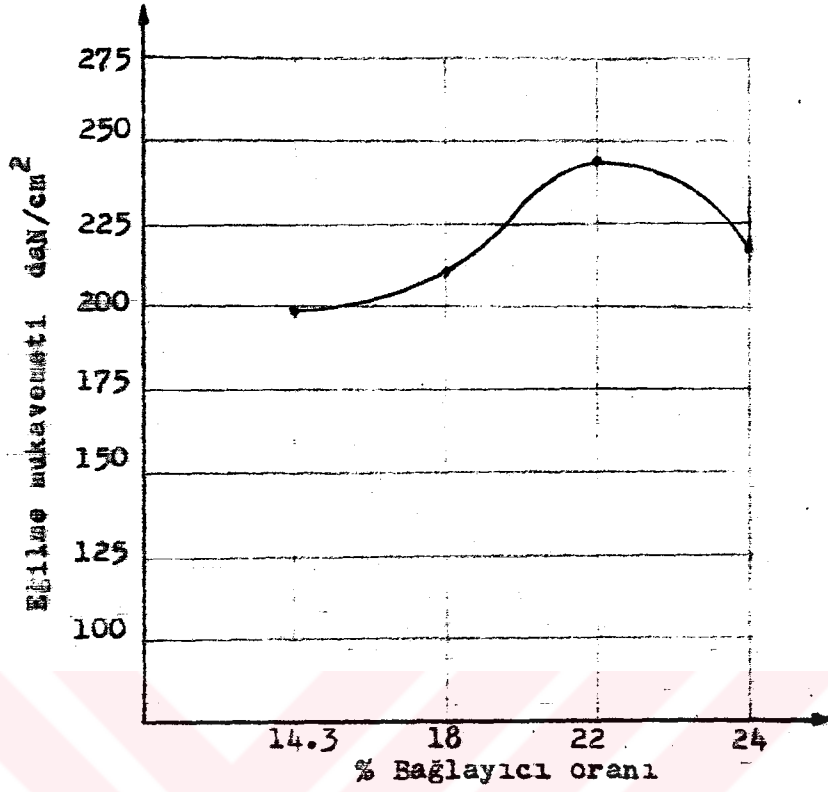
#### Eğilme Deney Sonuçlarının Analizi:

Reçine oranı %23 ile en yüksek eğilme dayanımı değerleri elde edildiği gözlenmiştir. %26 için yapılmış ön testlerde ise eğilme mukavemetinin değerinin daha önce yapılmış çalışmaların reçine oranı arttıkça mukavemetin azalmasına benzer şekilde düştüğü gözlemlendi. Bu sebeple %22 reçine oranı maksimum eğilme mukavemeti değeri veren reçine oranı olarak verilebilir. Reçine oranı ile eğilme mukavemeti değişimleri Şekil 5.71'de verilmiştir. Deney sonuçlarına göre en yüksek eğilme gerilme değeri %22 reçine oranı için I.grupta  $246 \text{ daN/cm}^2$  olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar ise Şekil 5.72'de verilmiştir.

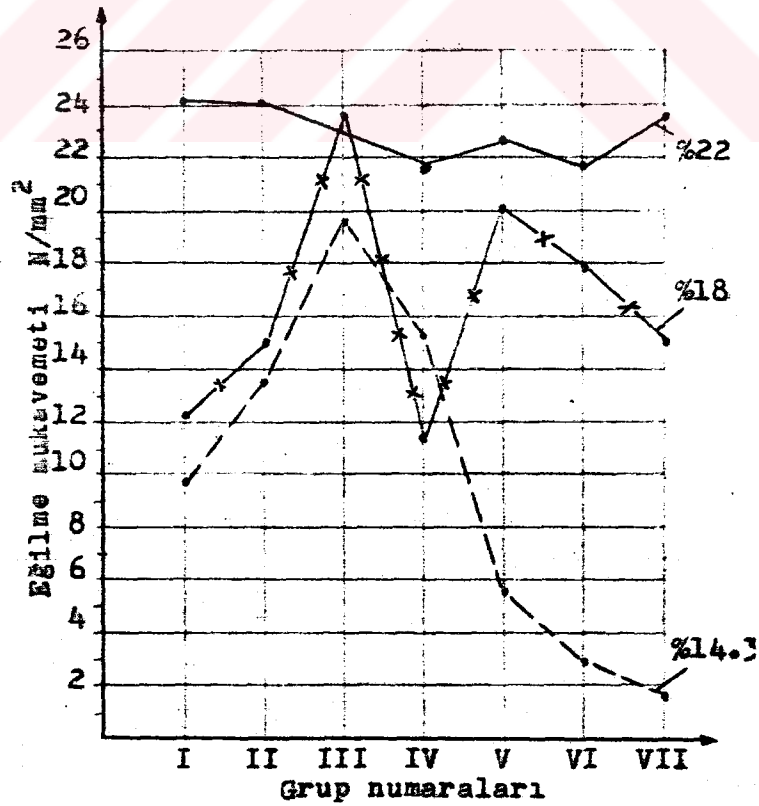
#### Eğilme Yorulma Deney Sonuçlarının Analizi:

Yorulma deneylerinin uzun süreli olması ve halen pratikte takım tezgah gövdesi olarak polimer betonun kullanılabilirliği çalışmaları yoğunlukta iken, buradada tüm reçine değerleri yerine sadece basma mukavemetinin maksimum olduğu %18 reçine değeri dikkate alınarak, Hazırlanan numuneler metalik malzemelerin yorulma dayanımına benzer bir deney sistematği uygulanarak daha önce yapılmamış butür bir deneyle polimer betonun yorulma dayanımı belirlenmeye çalışılmıştır. Tüm grupların yer aldığı gerilme-yük tekrar sayısı grafiği Şekil 5.73'de verilmiştir.

Belirlenmiş bileşimlerden IV, V ve özellikle VI nolu grubun  $2\text{N/mm}^2$  gerilme genliği değerinde dahi  $10^7$  yük tekrar sayısını geçtiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla yorulma mukavemeti açısından sıralama VI, V ve IV no'lu gruplar verilebilir.

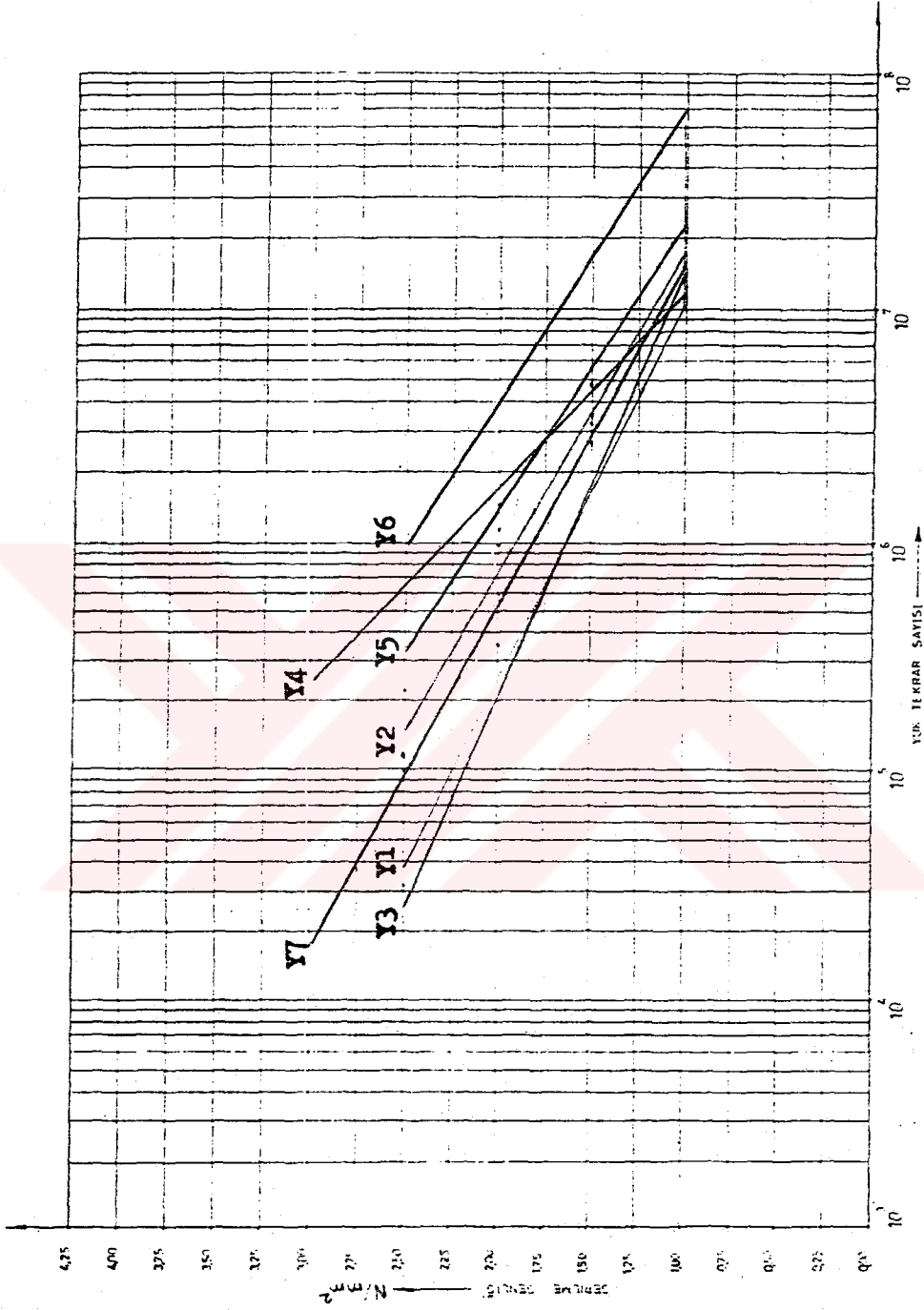


Şekil 5.71 Eğilme mukavemetinin % bağlayıcı oranı ile değişimi



Şekil 5.72 Eğilme mukavemetinin gruplara göre değişimi





Şekil 5.73 Grupların yük tekrar sayıları-perilme sıklığı değişimleri

Elde edilen deney sonuçları metalik malzemelerle kıyaslandığında polimer betonun oldukça düşük yorulma mukavemetine sahip olduğu görülmektedir. Diğer kompozit malzemelere benzer şekilde azalan gerilme genliği değerlerine karşılık artan yük tekrar sayıları elde edilmiştir ve bu malzemeler için bir sürekli mukavemet sınırından bahsetmek mümkün değildir. Ancak  $10^7$  yük tekrar sayısına karşılık gelen yorulma mukavemeti sınırı  $1-1.5 \text{ N/mm}^2$  olmaktadır.

#### Sönüm Deney Sonuçlarının Analizi:

Tüm deney numuneleri aynı şartlarda test edilmiş ve bu şartlara göre D sönüm ölçütü değerleri;

IV nolu numune için  $0.0179 < D < 0.0501$

V nolu numune için  $0.0197 < D < 0.0527$

VI nolu numune için  $0.0126 < D < 0.0308$

olarak elde edilmiştir. Benzer şartlar ile dökme demir numune üzerinde yapılan deneysel çalışma sonucu elde edilmiş sönüm eğrilerinden D sönüm sabiti için 0.004261 değeri elde edilmiştir. Bulunan sönüm sabitleri karşılaştırılarak polimer betonun dökme demir malzemeye göre sönüm oranları ise aşağıdaki şekilde elde edilmiştir.

IV nolu numune için  $1.680 < D < 4.703$

V nolu numune için  $1.848 < D < 4.947$

VI nolu numune için  $1.183 < D < 2.892$

#### Bu Çalışmadan Elde Edilen Sonuçlara Göre:

- 1) Polimer betonun mekanik ve sönümlenme özelliklerinin yapıyı oluşturan reçine ve dolgu malzemelerinin belirli sınırlar içinde kalan oranlarına ve dolgu malzemelerinin tane boyutları ile farklı tane boyutlarının dağılım oranlarına da bağlı olduğu;
- 2) Reçine dolgu malzemesi % oranı ile mukavemet değerleri arasında belirli bir ilişkinin mevcut olduğu, bunun yanında dolgu malzemesi tane boyutları ve farklı tane boyutları oranları dağılımı ile mukavemet değerleri arasında kesin bir ilişkinin olmadığı;
- 3) En yüksek basma mukavemeti değeri düşük % reçine oranında elde edilmesine karşılık eğilimde en büyük mukavemet % reçine oranı yüksek olan bileşimde elde edilmiştir. Bu sonuca göre polimer betonun mekanik özelliklerinin metalik malzemelere

göre farklı davranış gösterdiği;

4) Bu çalışmada seçilen yapıdaki bir polimer betonun yorulma mukavemetinin çok düşük olduğu, yüksek yorulma mukavemetine sahip olması gereken elemanların imalatı için yetersiz kalacağı ancak daha yüksek % reçine oranlarında bu mukavemet değerlerinin yüksek olabileceği;

5) Sönümlenme özelliğinin dökme demir malzemeye göre ortalama 4 kat daha yüksek olduğu, bu belirgin özelliği ile polimer betonun makina imalatında her zaman ayrıcalıklı bir öneme sahip olacağı;

6) Mukavemet değerlerinde büyük oranda sapmaların oluşu polimer betonun mukavemetinin çok farklı parametrelere bağlı olması, diğer kompozit malzemelerde olduğu gibi homojen ve izotrop bir yapıdan uzak olmasına bağlanabilir. Bu nedenlerle her uygulama alanı için çalışma şartlarına uygun bir yapının elde edilmesi, polimer betonun özelliklerini etkileyen parametrelerin çok geniş açıdan ele alınarak analizlerinin yapılmasını gerektirmektedir.

Bu çalışma bu tür analizlere yol gösterici olması açısından bir başlangıç kabul edilebilir. İleride yapılabilecek çalışmalara öneriler olarak;

1) Bu çalışmada yapılan grupların haricinde de yorulma ve sönüm deneylerinin yapılması.

2) Numunelere ısı kürü uygulanarak kemikleşmelerinin sağlanması ve bu şartlardaki mukavemetlerinin incelenmesi.

3) Basma deney numunelerinin farklı yükleme hızlarındaki mukavemetlerinin değişiminin incelenmesi.

4) Belirli tane gruplarını içermeyen veya tek bir tane grubunu içeren dolgu malzemesi ile numunelerin yukarıdaki açıklamalar ışığında testlerinin yapılması.

5) Bağlayıcı, dolgu malzemesi ve çelik kafesli bir yapıda mukavemet değerlerinin değişiminin incelenmesi.

6) Malzemenin aşınma özelliklerinin incelenmesi.  
şeklinde verilebilir.

## KAYNAKLAR

1. NICKLAU, R.G.;"Werkzeugmaschinengestelle Aus Methacrylatharzbeton"; Fortschr. Ber. VDI Reihe 2, Nr. 94; Düsseldorf; VDI Verlag 1985.
2. SCHULZ, H.;"Reaktionsharzbeton im Werkzeugmaschinenbau Industrie anzeiger No 21, Vol.14, P 41-42, 1986.
3. KRAUSSE, J.;"Reaktionsharzbeton Als Werkstoff Für Hochbeanspruchte Maschinenteile", Darmstadt, München, Wien : Hanser, 1987.
4. SAHM, D.;"Reaktionsharzbeton Für Gestellbauteile Spanender Werkzeugmaschinen" Von der Fakultät Für Maschinenwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 28 September 1987.
5. OHAMA, Y.;"Polymerbeton in Japan", Recent Development of Polymer Concrete in Japan; Stand der Entwicklung; College of Engineering, Nihon University Koriyama, Japan.
6. MÖLLER, H., GLEICH, D., LAMMINGER, M.;"Polybetonrohre Herstellung und Anwendung", Beton und Stahlbeton 64: Jahrgang, Heft 5, 1969.
7. HORNIKEL, T.;"Polyester resins a binder for concrete and artificial stone", Kunststoffe im Bau, vol 6, 1974.
8. HADDAD, M.U., FOWLER, D.W., PAUL, D.R.;"Factors Affecting The Curing and Strength of Polymer Concrete", ACI Journal, Title no. 80-38, September-October 1983, 396-402, Technical Paper.
9. KREIS, R., NICKLAU, G.;"Grundlagen und Anwendungsforschung Über Bau Elemente aus Polymerbeton", Industrie Anzeiger, no.17, vol.2, 48-52, 1983.
10. KRAUSSE, J., DEY, H.;"Maschinenteile aus Polymerbeton", Sonderdruck aus Maschine+Werkzeug, 13, 1984.
11. STAWOWY, J.;"Schwingungsarm eingestellter polymerbeton auf polyesterharzbasis und die sich daraus ergebenden möglichkeiten der bewehrung", Darmstadt Hüls AG, 1984.

12. CZARNECKI, L.; "The Status of Polymer Concrete", *Concrete International Design and Construction*, V.7, P.47-53, No.7, July, 1985.
13. RENKER, H.J.;"Stone-Based Structural Materials", (Fritz Studer AG, Glockenthal Switzerland), *Precision Engineering*, Vol.7, No.3, P.161-164, July, 1985.
14. KRUGER, D.;" Recent Developments in the Use of Polymer Concrete", *Rand Afrikaans University*, 524 Johannesburg 200, AFRICA, *Materials and Society*, Vol.9, No.3, pp. 371-380, 1985.
15. CHUNG, S., TSUTSUMI, M., ITO, Y.;"Dynamic Characteristics of Lathe Using Concrete Bed", *Bulletin of JSME*, Vol.28, No.239, P.987-993, 1985.
16. KOBLISCHEK, P.J.;"Motema-AC Substitutionswerkstoffe für Keramik und Steinzeug", *Sprechsaal*, Vol.119, No.2, P.67-71, Feb.1986, Frankfurt, D.
17. SUBRAHMANYAM, B.V., NEELAMEGAM, M.,RAYAMANE, N.P., JOSEPH, G.P., PANDIAN, N., KARIM, E.A., RAO, E.U.;"Modular Lightbeacon Tower of Polymer Impregnated Ferrocement", *Journal of Ferrocement*, Vol.16, No.13, P.263-271, July 1986.
18. SALJE, V., GERLOFF, H.;"Werkzeugmaschinen-gestelle aus Grauguss oder Polymerbeton", *Konstruktion* Nr.15/16, P.595-602, VDI-Z Bd.128, Aug., 1986(I/II).
19. HAQUE, E.,ARMENIADES,C.D.;"Montmorillonite Polymer Concrete: Zero Shrinkage and Expanding Polymer Concrete with Enhanced Strength", *Chemical Engineering Department, Rice University, Houston, Texas. Polymer Engineering and Science* November, 1986, Vol.26, No.21, P.1524-1530.
20. Cranfield Moulded Structures;"Designing Machines in Granite Composites", *Engineering Materials and Design*, V.31, No.6, P.46-48, June, 1987.
21. CAPUANO, T.D.;"Polymer Concrete: An Engineering Material with an Identity Problem", *Machine Design*, V.59, No.20, P.133-135, Sep. 1987.
22. NUTT, W.O.;"Polymer Concretes-The Next Stage", *Concrete (London)*, V.21, No.9, P.15-16, Sep. 1987.

23. KAMAL, M.M., TAWFIK, S.Y., NOSSEIR, M.H.;"Polyester Mortar", Reinforced Concrete Department, General Organization for Housing Building and Planning Research, Cairo.Egypt (Laboratory of Polymers and Pigments, National Research Centre, Dokki, Cairo, Egypt).
24. VIPULANANDAN, C., DHARMARAJAN, N.;"Flexural Behaviour of Polyester Polymer Concrete", Cement and Concrete Research, Vol.17, P.219-230, 1987.
25. VIPULANANDAN, C., DHARMARAJAN, N.;"Effect of Temperature on the Fracture Properties of Epoxy Polymer Concrete", Cement and Concrete Research, Vol.18, No.2, P.265-276, 1988.
26. SCHULZ, H., DEY, H.Y.;"Verhalten von Reaktionsharzbetonbauteilen am modellsimulierbar", Werkstatt und Betrieb, 121, S.367-369, 1988.
27. DHARMARAJAN, N., KUMAR, S., ARMENIADER, C.D.;"Constitutive Equation for Creep in Polymer Concretes and Their Resin Binders", Journal of Applied Polymer Science, Vol.36, No.2, P.353-364, 1988.
28. KEMMERLE, D.;"Einsatzoptimierte Konstruktion Eröffnet Mineralguss Weitere Möglichkeiten"; Werkstatt und Betrieb, V.123, n.4, Apr. 1990, P.291-295.
29. ALZAYDI, A.A., SHIHATU, S.A., ALP, T.;"The Compressive Strength of a new Urea formaldehyde Based Polymer Concrete", Journal of Material Science, Vol.25, No.6, P.2851-2856, June, 1990.
30. DEY, H.J.;"Das Verformungs und Bruchverhalten von Reaktionsharzbeton und die Auswirkungen auf Maschinenbauteile"; Hanser, 1991.
31. REBEIZ, K.S., FOWLER, D.W., PAUL, D.R.;"Time and Temperature Dependent Properties of Polymer Concrete Made with Resin Using Recycled PET", In Search of Excellence Annual Technical Conference, ANTEC Conference Proceedings V.37, Pub. by Soc of Plastics Engineers, Brookfield, CT, USA, P.2146-2149, 1991, (May 5-9).

32. GUNOSEKARAN, M.;"Seismicaly Superior Substation Insulator Concepts Based on Polymer Concrete", "Proceeding of the 3rd Int.Conf. on Prop. and Appl. of the Dielectric Materials", Tokyo, Jpn, 1991, July 8-12.
33. KAZARYAN, E.L., POPOV, Yu.P., GUKASOV, N.A.;"Domestic Equipment for The Polymer Concrete Article Production", Khimicheskoe; Neftekhimicheskoe Marhinostroenie, N.1. Jan.1992, P.12-13.
34. REBEIZ, Karim. S., FOWLER, DAVID. W., PAUL, DONALD K.;"Properties of composites Using Recycled Plastics", Performance and prevention of Deficiencies and Failures 92 Mater. Eng. Congr. Publy by ASCE, New York, NY, USA P.373-381.
35. PİŞKİN, E.;"Polimer Teknolojisine Giriş", Hacettepe Üniv. Kimya Müh. Böl., 1987. İstanbul, İnkilap Kitabevi Yayını.
36. AKMAN, M. S.;"Yapı Malzemeleri", İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Ders Notları, 128-154, 1987.
37. MARAŞOĞLU, M.;"Plastik Malzemeler", Yıldız Üniv. Müh. Fak. Metalürji Müh. Böl., 1986, İstanbul.
38. SEVİNÇ, V.;"Metal Dışı Malzeme Üretimi", İ.T.Ü., Sakarya Müh. Fak., 1985, Şubat.
39. ASHBY, M. F.; JONES, D. R. H.;"Engineering Materials 2, An Introduction to Microstructures, Processing and Design", Engineering Department, Cambridge University, England, 1986. (International series on materials science and technology. V.39). Pergamon Press 201-240.
40. ANIK, S.; ANIK, E. S.;"Malzeme Bilgisi ve Muayenesi", 1984, İstanbul, Birsen Kitabevi.
41. AKKURT, S.;"Plastik Malzeme Bilgisi", İ.T.Ü., Mak. Fak., 1991, İstanbul, Birsen Kitabevi.
42. ARAN, A.;"Elyaf Takviyeli Karma Malzemeler", İ.T.Ü. Mak. Fak., 1990, İstanbul

43. ÖZDEMİR, H. İ.; "Genel Anorganik ve Teknik Kimya", İ.T.Ü., Kimya Fak., 1970, İstanbul, Cilt-II, Arı Kitabevi.
44. AKAR, A.; "Polimer Ders Notları", İ.T.Ü., Ağustos, 1981, Ayazağa, İstanbul.
45. GÜRLEYİK, M. Y.; "Malzeme Bilgisi ve Malzeme Muayenesi", K.T.Ü., Mak. Böl. Malzeme Bilimleri Anabilimdalı, Trabzon, 1988.
46. ONARAN, K.; "Malzeme Bilimi", 1986, İ.T.Ü., İstanbul, 1985, Çağlayan kitabevi.
47. SAFOĞLU, R. A.; "Malzeme Bilimine Giriş", İ.T.Ü., Birsen Kitabevi, 1990, İstanbul.
48. ÇETMELİ, E.; "Alman Betonarme Şartnamesi (DIN 1045, 1978)", İ.T.Ü. İnşaat Fak. Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul, 1981.
49. POSTACIOĞLU, B.; "Yapı Malzemesi Dersleri (Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton)", İ.T.Ü. İnşaat Fak., 2. Baskı, Teknik Üniv. Matbaası, Sayı 1011, 1975, Gümüşsuyu, İstanbul.
50. "Schering, Industrial Chemicals"; Systems for Coatings and Building Protection, Surface Protection.
51. "Schering, Industrial Chemicals"; Surface Protection I, Solvent Based Paints and Epoxy Emulsion Paints, Technical Information, Eurepox, Euredur.
52. "Schering, Industrial Chemicals"; Technical Information, Build Protection, Surface Protection 2.
53. KREİS, R.; "Short Curing Times for The Polymer Concrete". Technodigest.
54. TANNER, H.; "Polymerbeton im Werkzeugmaschinenbau", Studer.
55. ÇAKAR, İ.; "Poliesterlerin Uygulama Yöntemleri", İstanbul, İlkester Reçine Sa. A.Ş.
56. ÇAKAR, İ.; "CTP Malzeme Üretiminde Kullanılan Yardımcı Maddeler ve Önemi", Poliya, İstanbul.

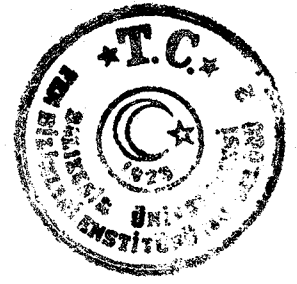


57. ERSOY, S.;"Yapı Makinaları", Cilt-II, Zemin Kazma ve Sıkıştırma Makineleri, İ.T.Ü., İnşaat Fak., 1975, İstanbul.
58. ERSOY, S.;"Yapı Makinaları", Cilt-III, Beton ve Bitümlü Karışım Tesisleri, İ.T.Ü., İnşaat Fak., 1971, İstanbul.
59. GÜLEÇ, Ş., ARAN, A.;"Çelik ve Dökme Demirlerin Yorulma Dayanımı", Malzeme davranışı, Biçim etkisi ve Hesaplama Yöntemleri, TÜBİTAK, Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü, Gebze, 1983.
60. BRUINS, D.H.;"Werkzeuge und Werkzeugmaschinen", Teil 2 (Werkzeug und Maschinen) 2.Auflage, Carl Hanser Verlag München, 1966
61. AKKURT, M.; "Nümerik Kontrollu Tezgahlar ve Sistemler", İTÜ Makina Fakültesi Asil Teknik, Yayın no:1, 1986
62. AKÜN, F.; Takım Tezgahları, Cilt II, 5.Baskı, İTÜ Makina Fakültesi, 1973
63. KAYALI, S.,ENSARİ, C.,DİKEÇ, F.;"Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri", İTÜ Metalurji ve Makina Bölümü, 1978
64. KOCATAŞKIN, F.;"Yapı Malzemesi Bilimi Özellikler ve Deneyler", 4.Baskı, İTÜ Makina Fakültesi, Birsen Kitabevi Yayını, 1975
65. TS.3114, TSE Türk Standartları Beton Basınç Dayanımı Deney Metodu, Nisan 1978
66. AKKURT, M.;"Makina Konstrüksiyonunda Güvenirliğin Esasları", İTÜ Müh.Mim.Fak. 1977, MMO Yayın no:106
67. BABALIK, F.;"Makina Elemanlarında Mukavemet Hesapları", U.Ü.Müh.Mim.Fak.,1992 Bursa
68. TS.1487, TSE 1.Baskı,"Metallerin Yorulma Deneyi Genel Prensipleri", Şubat 1974
69. Deutsche Normen, Werkstoffprüfung "Dauerschwing versuch" Begriffe Zeichen Durchführung Auswertung DIN-50100, February 1978

70. PASİN, F.; Mekanik Titreşimler Ders Notları, İTÜ Makina Fak. (45-51)
71. DIN-53513, Deutsche Normen, "Prüfung von Kautschuk und Gummi; Bestimmung der visko-elastischen Eigenschaften von Gummi bei erzeugenen Schwingungen ausserhalb der Resonanz"
72. GOODMAN, L.; Material damping and slip damping, Schock and Vibration Handbook, NewYork Mc Graw Hill, 1-27, 1976
73. DIETER, G.; Mechanical Behavior of Polymeric Materials, Mechanical Metalurgy Tokyo, Mc Graw Hill, 292-325, 1976
74. ÖZGÜVEN, N.; Endüstriyel Gürültü Kontrolü, TMMOB Yayın No:118, 1986, ODTÜ Mak.Müh.Böl.
75. IRWIN, J.D., GRAF, E.R.;"Industrial Noise and Vibration Control", Department of Electric Engineering, Auburn University Alabama, 1979, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs,New Jersey 07632
76. TS.2774, TS "Titreşim ve Şok-Terimler ve Tarifler", Nisan 1977
77. STEIDEL, R.F.Jr.;"An Introduction to Mechanical Vibrations", Department of Mechanical Engineering, University of California, Berkeley, John Wiley & Sons, Inc. 1971, August
78. SHIGLEY, J.E.;"Theory of Machines",Kinematic Analysis of Mechanisms and Dynamic Analysis of Machines, Mc Graw Hill Book Company. Inc. Kogakusha Company, Ltd. Tokyo, 1961
79. POHL, E.; Zerstörungsfreie Prüf-und Mebmethoden für Beton. VEB Verlagfür Bauwesen, Berlin 1969
80. BOOTHROYD, G.;"Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools", Mc Graw Hill Kogakusha Ltd., 1975, Scripta Book Company, Washington,D.C.,Tokyo
81. HOFFMAN, K.; Herausgabe HBM Darmstadt,"Eine einführung in die Tecknik des Messens mit dehnungmesstreifen"

82. "Strain Gauges and Accessories", HBM-Gmbh, Electrical Measurement of Mechanical Quantities, Darmstadt
83. SHAW, M.C.;"Metal Cutting Principles", Clarendon Press-Oxford, 1984
84. HBM, Strain Gauge Applications
85. DIN-1164 "Eğilme deneyi ve basma deney numuneleri"
86. DIN-53188 "Epoksi değeri"
87. DIN-51757, Deutsche Norm, Prüfung von Mineralölen und verwandten stoffen Bestimmung der Dichte, Januar 1984
88. DIN-51758 "Parlama Noktası"
89. DIN-16945 "Amin değeri", Reaktionsharze, Reaktionsmittel und Reaktionsharzmassen Prüferfahren, Blatt 1, Juni 1989
90. ASTM D 1652-67 "Epoksi reçine değeri"
91. PINARERDEM, N.;"Mühendislik Jeolojisi", İDMMA Yayınları, Sayı 156, İstanbul 1981
92. DEER, W.A., HOWIE, R.A.,ZAUSMANN,J.;"An Introduction to The Rock-Forming Minerals", 1967, Longmans, Green and Co.Ltd.
93. TS 1226,"Deney elekleri için yuvarlak ve kare delikli metal elek levhaları", Aralık 1977
94. TS 1227,"Deney elekleri tel kafesli karegöz açıklıklı", Nisan 1985
95. TS 130,"Agrega karışımlarının elek analizi deneyi için metot", Nisan 1978
96. TS 706,"Beton agregaları", Aralık 1980
97. DIN-51290 Teil 3, Deutsche Norm, Prüfung von Reaktionsharzbeton im Maschinenbau, Prüfung gesondert hergestellter Probekörper, Mai 1991
98. DIN-53454 "Basma deney numune boyutları"

99. DIN-1048 "Basma deney numune boyutları"
100. DIN-50106 "Basma deney numune boyutları"
101. TS 3068, "Laboratuarda beton deney numunelerinin hazırlanması ve bakımı", Mart 1978
102. DIN-53452 "Eğilme deneyi"
103. DIN-50110 "Eğilme deneyi"
104. DIN-53442 "Yorulma deneyi"
105. Amsler Dauerbiegemaschine, Alfred J. Amsler & Co, Schaffhausen (Schweiz)
106. SAYLAN, S.; "Takım Tezgahı Gövdelerinin İmalinde Yeni Bir Malzeme: Polimer Beton", Doktora Tezi, Bursa, Eylül 1991



## ÖZGEÇMİŞ

03.10.1961'de Balıkesir'de doğdum. İlk, orta ve lise öğrenimimi Balıkesir'deki okullarda tamamladım. 1980'de girdiğim Uludağ Üniversitesi Balıkesir Mühendislik Fakültesi Makina Bölümü'nü 1984 yılında bitirdim. 1987 yılında U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünde Yüksek Lisansımı tamamladım. 1989 yılında, U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünde Doktora Programı'na başladım. Halen Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktayım.

Mak. Yük. Müh. Ergun ATEŞ