

İTÜ



İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

ÜÇ ALKER DUVARIN SARSMA MASASI DENEY RAPORU

Deney Ekibi

Araş. Gör. Emre GÖNÜLCÜ

Araş. Gör. Furkan ÇALIM

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet GÜLLÜ

Öğr. Gör. Hakan SARUHAN

Onaylayan

Prof.Dr. Ercan YÜKSEL

MAYIS 2025

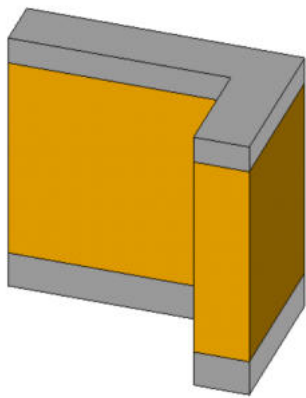
İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	1
2. SARSMA MASASI DENEYLERİ	2
2.1. Sarsma Masası Teknik Özellikleri	2
2.2. Uygulanan Deprem Kayıtları	3
2.3. Deney Numuneleri ve Ölçüm Düzeneği	4
3. SARSMA MASASI DENEY SONUÇLARI	8
3.1. Deneyler Sırasındaki Gözlemler	8
3.2. Sensör Verileri	12
4. SONUÇLAR	14
EK A: SARSMA MASASI SENSÖR VERİLERİ	16

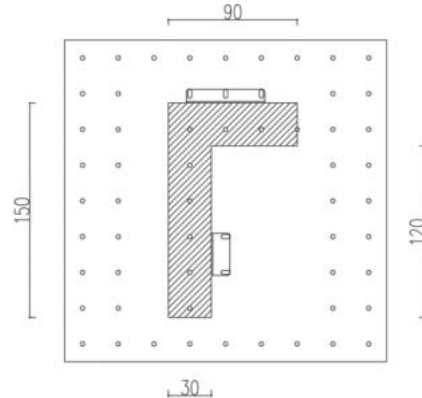
1. GİRİŞ

Bu rapor, farklı üretim tekniklerine sahip alker duvarların sismik davranışlarını karşılaştırmak amacıyla hazırlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, planda L-kesite sahip ve geometrik özellikleri bakımından eşdeğer olan üç numune sarsma masası deneylerine tabi tutulmuştur. Numunelerin toplam yüksekliği 150 cm iken, planda uzun kol 150 cm, kısa kol 90 cm, duvar kalınlığı ise 30 cm dir. Duvarların altında 25 cm, üstünde ise 15 cm yüksekliğinde betonarme hatıl bulunmaktadır. Numuneler kendi ağırlıkları etkisinde (ilave kütle kullanmaksızın) teste tabi tutulmuştur.

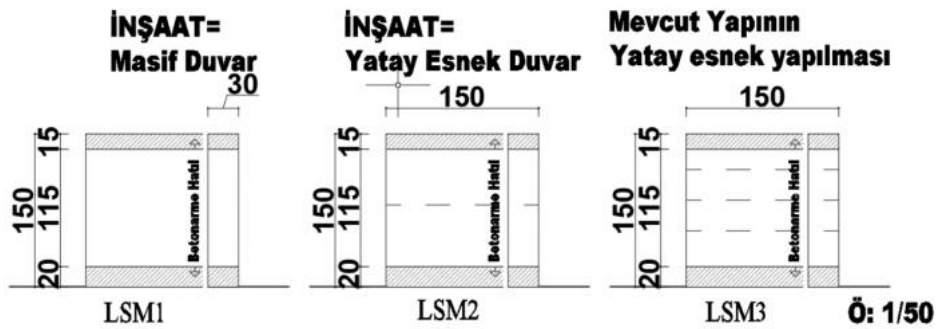
Betonarme hatılların arasında alker malzemeden üretilmiş olan 110 cm yüksekliğinde bir bölüm bulunmaktadır (Şekil 1.1). Kullanılan alkerin 45 günlük kuruma süresi sonrasında ortalama basınç dayanımı **1.5 MPa** olarak belirlenmiştir. Malzemenin yoğunluğu ise **1700 kg/m³** olarak tayin edilmiştir. Bu deney raporunda kullanılan numune isimlendirmeleri ve ilgili özellikleri Tablo 1.1’de verilmiştir.



(a) Üç boyutlu görüntüsü



(b) Sarsma masası üzerinde plan görüntüsü



(c) Kesit görüntüsü

Şekil 1.1. Yığma duvar numunelerine ait geometrik özellikler.

Tablo 1.1. Numune isimleri ve açıklamaları.

Numune İsmi	Açıklama
<i>LSM1</i>	Sarsma masasında test edilmek üzere masif olarak inşa edilen L şeklinde tasarlanan duvar numunesi
<i>LSM2</i>	Sarsma masasında test edilmek üzere inşası sırasında ara katmanlar oluşturularak yatay esnek hale getirilen L şeklinde tasarlanan duvar numunesi
<i>LSM3</i>	Sarsma masasında test edilmek üzere masif şekilde inşa edildikten sonra yatay esnek hale getirilen L şeklinde tasarlanan duvar numunesi

2. SARSMA MASASI DENEYLERİ

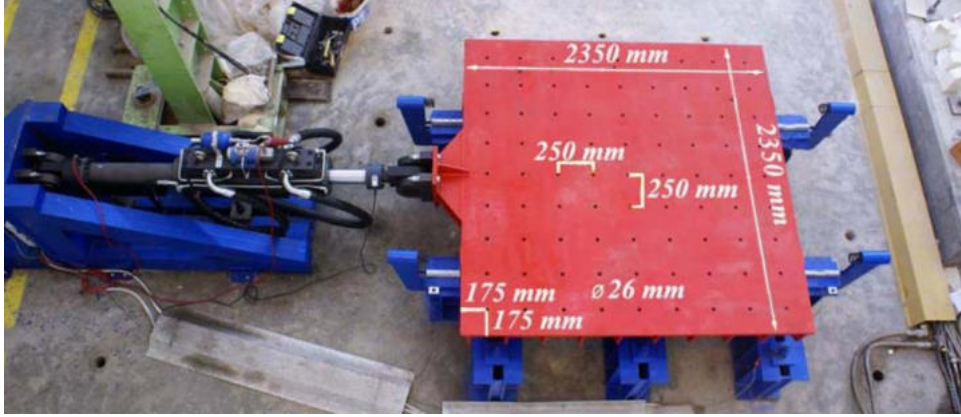
2.1. Sarsma Masası Teknik Özellikleri

Sarsma masası deneyleri, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Mühendisliği Laboratuvarı'nda (YDMLab) bulunan sarsma masası kullanılarak gerçekleştirilmiştir. YDMLab'da bulunan ve 2350×2350 mm plan boyutlarına sahip olan tek serbestlik dereceli ARI-1 sarsma masası (Şekil 2.1); ± 1 g ivme, ± 1000 mm/s hız, ± 325 mm yerdeğiştirme, 320 kNm devrilme momenti, 60 kN düşey yükleme ve 200 kN yatay yükleme kapasitelerine sahiptir.

Sarsma masasının geliştirilmesi aşamasında masanın performansı, farklı frekans ve genlikteki 20 çevrimden oluşan harmonik yüklemeler altında test edilmiştir. Masanın üzerine temsili kütleler bağlanmasıyla (boş masa, 25 kN, 50 kN) bu testler tekrarlanmıştır. Bu testlerin ardından aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- ✓ Boş masa durumunda, masa 0~8 Hz aralığında verimli olarak çalışabilmektedir. Kullanışlı ivme sınırı ± 2.4 g ($g=9.81$ m/s²), hız sınırı ± 125 cm/s ve yerdeğiştirme sınırı da ± 30 cm olarak elde edilmiştir.
- ✓ 25 kN yükleme durumunda, sarsma masası 0~6 Hz aralığında verimli olarak çalışabilmektedir. Kullanışlı ivme sınırı $\pm 2g$ ($g=9.81$ m/s²), hız sınırı ± 125 cm/s ve yerdeğiştirme sınırı da ± 30 cm dir.

- ✓ 50 kN yükleme durumunda sarsma masası 0~6 Hz aralığında verimli olarak çalışabilmektedir. Kullanışlı ivme sınırı $\pm 1.3g$ ($g=9.81 \text{ m/s}^2$), hız sınırı $\pm 125 \text{ cm/s}$ ve yerdeğiştirme sınırı da $\pm 30 \text{ cm}$ olarak belirlenmiştir.



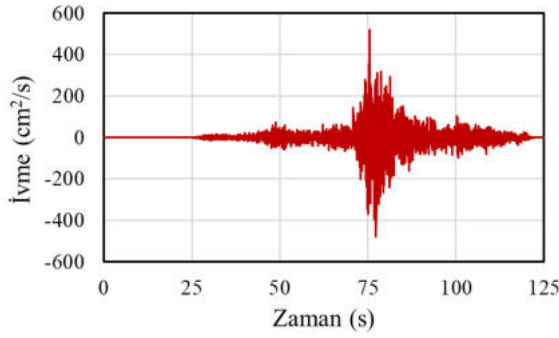
Şekil 2.1. YDMLab'da bulunan ARI-1 sarsma masası.

2.2. Uygulanan Deprem Kayıtları

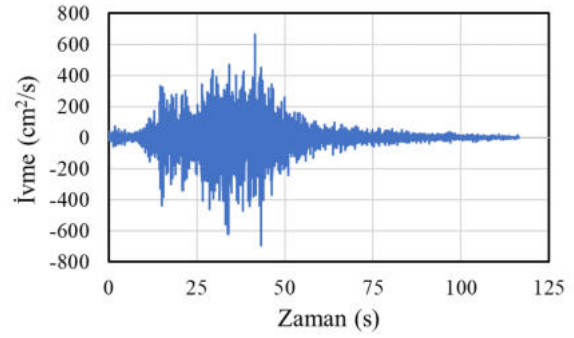
Sarsma masası deneyleri sırasında iki deprem kaydı farklı ölçek katsayılarıyla ölçeklendirilerek uygulanmıştır (Şekil 2.2).

Bu depremlerden ilki (**D1 depremi**), 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde Hatay'daki bir istasyonun (**TK.3136** istasyonu, Kuzey-Güney bileşeni) kaydettiği ivme kaydıdır. Bu kaydın en büyük yer ivmesi, hızı ve yerdeğiştirmesi (PGA, PGV ve PGD) sırasıyla 518.0 cm/s^2 , 52.1 cm/s ve 35.0 cm olarak kaydedilmiştir. Bu deprem kaydı 0.10, 0.25, 0.50, 0.75 ve 1.00 ölçek katsayılarıyla ölçeklendirilerek masaya uygulanmıştır. Raporun geri kalan kısmında bu kayıtlar sırasıyla $0.10 \times D1$, $0.25 \times D1$, $0.50 \times D1$, $0.75 \times D1$ ve $1.00 \times D1$ olarak adlandırılmaktadır.

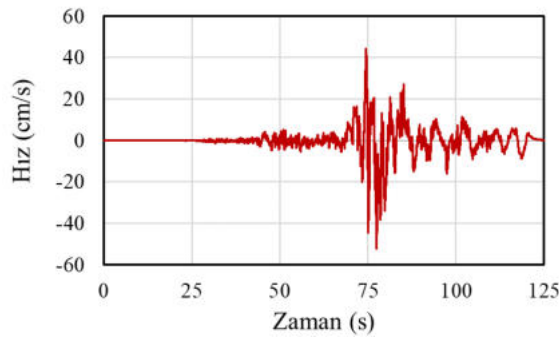
Bu depremlerden ikincisi (**D2 depremi**), 1985 San Salvador depreminde kaydedilmiş bir kayıttır. Bu kaydın en büyük yer ivmesi, hızı ve yerdeğiştirmesi (PGA, PGV ve PGD) sırasıyla 693.5 cm/s^2 , 38.4 cm/s ve 11.2 cm dir. Bu deprem kaydı 0.50, 1.00, 1.50 ve 2.00 ölçek katsayılarıyla ölçeklendirilerek masaya uygulanmıştır. Raporun geri kalan kısmında bu kayıtlar sırasıyla $0.50 \times D2$, $1.00 \times D2$, $1.50 \times D2$ ve $2.00 \times D2$ olarak adlandırılmaktadır.



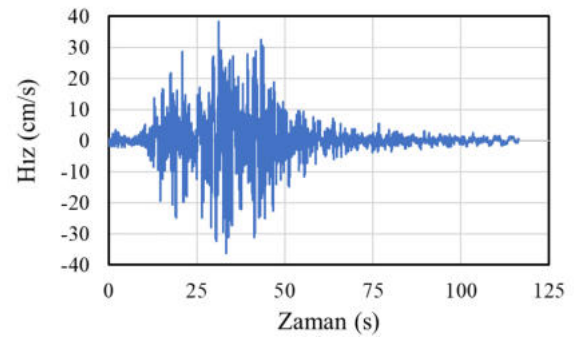
(a) D1 depremi - İvme zaman serisi



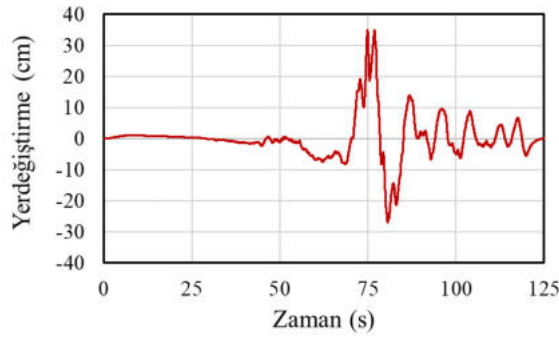
(b) D2 depremi - İvme zaman serisi



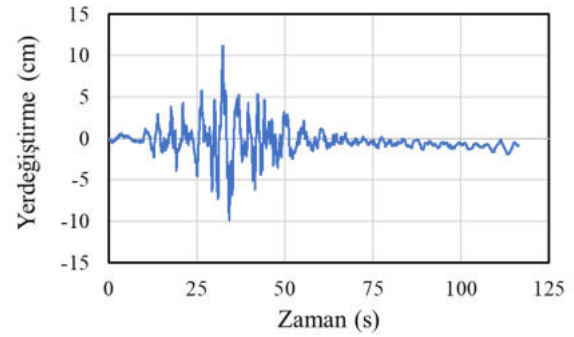
(c) D1 depremi - Hız zaman serisi



(d) D2 depremi - Hız zaman serisi



(e) D1 depremi - Yerdeğiştirme zaman serisi



(f) D2 depremi - Yerdeğiştirme zaman serisi

Şekil 2.2. Sarsma masası deneylerinde uygulanan deprem kayıtları.

2.3. Deney Numuneleri ve Ölçüm Düzeneği

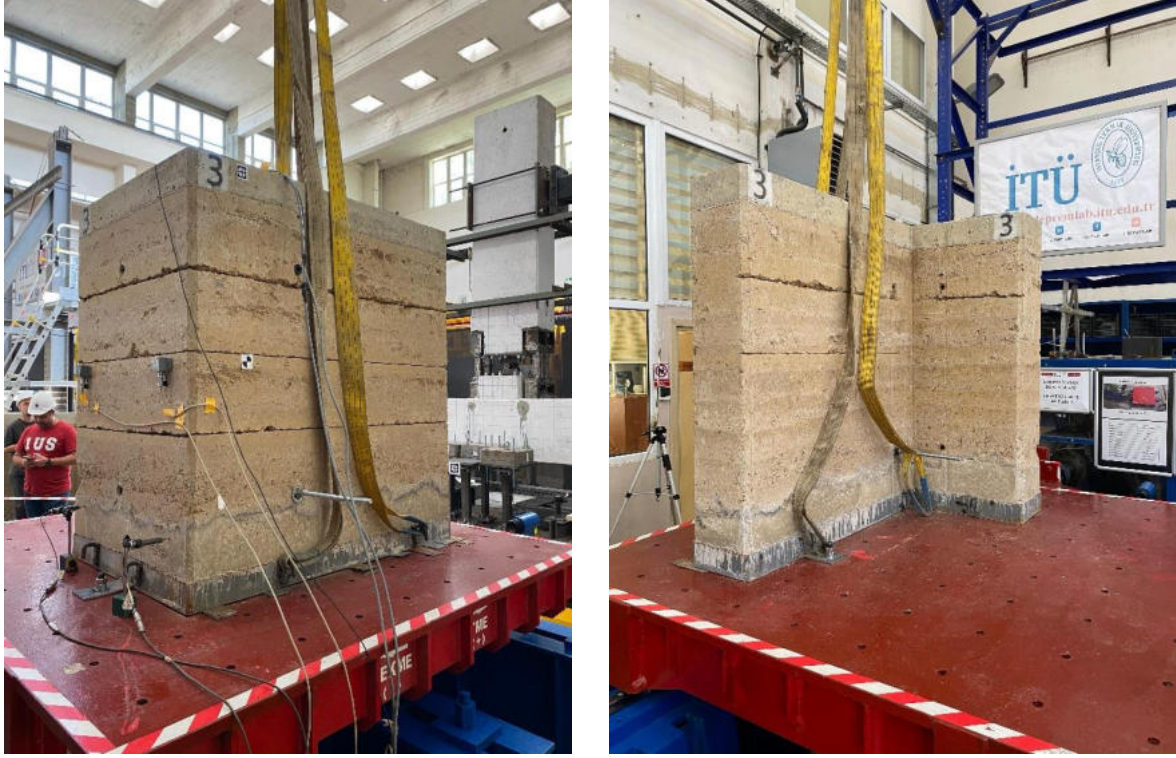
20.05.2025 tarihinde laboratuvara teslim edilen deney numunelerinin sarsma masası deneyleri 22.05.2025 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Numunelerin masaya yerleştirilmesinin ardından deneyler sırasında güvenliği sağlamak amacıyla yığma duvarlar halatlar yardımıyla krene gevşek bir şekilde bağlanmıştır (Şekil 2.3, 2.4 ve 2.5). Numuneler kendi ağırlıkları etkisinde (ilave kütle kullanmaksızın) teste tabi tutulmuştur.



Şekil 2.3. LSM1 sarma masası deney numunesi.



Şekil 2.4. LSM2 sarma masası deney numunesi.



Şekil 2.5. LSM3 sarsma masası deney numunesi.

Numune kurulumunun tamamlanmasının ardından; lineer potansiyometrik cetvel, ivmeölçer ve yerdeğiştirme ölçerlerden (LVDT) oluşan ölçüm sistemi sarsma masası ve deney numunelerinin üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 2.6). Bu ölçüm sistemi tarafından deneyler sırasında kaydedilen büyüklükler, her üç numune için birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

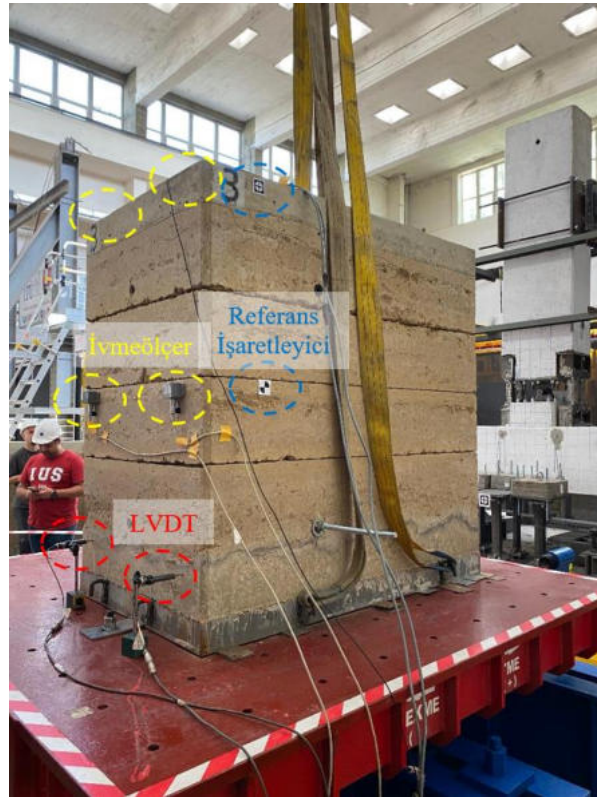
Masaya verilen komutu kontrol etmek ve masanın gerçek hareketini takip etmek amacıyla sarsma masası seviyesine 800 mm ölçüm boyuna sahip RTL-800 tipi bir lineer potansiyometrik cetvel yerleştirilmiştir.

Benzer şekilde; masaya verilen komutun kontrolü için sarsma masası seviyesine bir adet, yığma duvarların tepkilerini ölçmek için de tepe noktası ve orta yükseklikte ikişer adet ivme ölçer yerleştirilmiştir. Bu ivme ölçerler ± 2 g ölçüm aralığına sahip olan ve mikro ölçekli mekanik yapılar ile elektronik devrelerin entegre edilmesiyle ivme ölçümünü gerçekleştiren Mikro-Elektro-Mekanik Sistemler (MEMS) tipi ivmeölçerlerdir.

Taban kesitinde meydana gelen beton-alker ara yüzey ayrılmasını (kaymasını) ölçmek amacıyla, sarsma masası seviyesinde iki adet CDP-25 tipi yerdeğiştirmeölçer (25 mm ölçme kapasitesi) konumlandırılmıştır. Bu sensörler, beton ve alker malzemelerin birleşim

noktasındaki rölatif yerdeğiştirmeyi hassas bir şekilde tespit etmek üzere yerleştirilmiş olup, deney süresince taban kesitindeki kayma davranışının değerlendirilmesine olanak sağlamıştır.

Tüm bunlara ilaveten, deneyler sırasında numunelerin maruz kaldığı yerdeğiştirmeleri ölçmek amacıyla görüntü tabanlı bir ölçüm sistemi de kullanılmıştır. Bu sistem kapsamında, sarma masası deneyleri süresince yüksek hızlı bir kamera aracılığıyla numunelerin hareketi 4K çözünürlükte ve saniyede 60 kare hızında kaydedilmiştir. Kaydedilen videolarda her bir kare ayrı ayrı işlenmiş, görüntüler gri tonlamaya çevrilmiş ve gürültü etkisini azaltmak amacıyla çeşitli filtreleme teknikleri uygulanmıştır. Numune üzerine yerleştirilen referans işaretleyicisinin tespiti ve takibi için şablon eşleme (template-matching) yöntemi kullanılmıştır. Ardışık karelerde tespit edilen işaretçi konumları analiz edilerek zamanla değişen yerdeğiştirmeler hesaplanmıştır. Bu piksel temelli yerdeğiştirmeler, video içerisinde yer alan bilinen bir referans uzunluk yardımıyla gerçek ölçülere dönüştürülmüştür. Deneylerin ardından elde edilen yerdeğiştirme zaman serileri, ivmeölçerler tarafından kaydedilen ivme kayıtlarından elde edilen yerdeğiştirme serileri ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.6. Sarma masası deneylerinde kullanılan ölçüm sistemi.

3. SARSMA MASASI DENEY SONUÇLARI

3.1. Deneyler Sırasındaki Gözlemler

Yığma duvar numunelerinin farklı katsayılarla ölçeklendirilmiş deprem kayıtları altında test edilmesi sırasında, yapısal hasar gözlemi yapılmıştır. Çatlak uzunlukları ve genişlikleri kaydedilmiş ve üç numune için her adımda karşılaştırma yapılmıştır.

- **LSMI:**

- ✓ 0.10×D1 sırasında herhangi bir yapısal hasar gözlenmemiştir.
- ✓ 0.25×D1 sırasında herhangi bir yapısal hasar gözlenmemiştir.
- ✓ 0.50×D1 sırasında üst betonarme hatıl katmanı civarında yatay çatlaklar oluşmuştur.
- ✓ 0.75×D1 sırasında üst betonarme hatıl katmanı alker bölümden ayrılmıştır. Toplamda 1 mm genişliğinde çatlaklar oluşmuştur. Numune üzerinde burulmaya bağlı kayma çatlakları (özellikle kısa kolda) oluşmaya başlamıştır. Birleşim bölgesi civarında düşey çatlak genişlikleri ise 0.1 - 0.2 mm civarında kalmıştır. Üst betonarme hatıl katmanı altındaki çatlak boyları uzamıştır.
- ✓ 1.00×D1 sırasında üst betonarme hatıl katmanı ayrılma çatlağı 2 mm'ye ulaşmıştır. İkinci katmandaki ayrılma çatlağı 1.2 mm'ye, kılcal çatlaklar ise 0.2 - 0.4 mm'ye ulaşmıştır. Mevcut çatlaklar ise uzamıştır.
- ✓ 0.50×D2 sırasında mevcut çatlaklar genişlemiş, yeni çatlaklar oluşmuştur. Kısa kol alt uçta iri agregaların civarındaki küçük kum taneleri yapısal bütünlüğü kaybetmiştir. Aderans kaybolmuştur. Kum taneleri elle sökülebilir hale gelmiştir.
- ✓ 1.00×D2 sırasında mevcut çatlaklar genişlemiş ve uzamıştır. 1.2 mm çatlak genişliği 1.6 mm'ye kadar çıkmıştır. Üst beton tabakada planda dönme meydana gelmiştir.
- ✓ 1.50×D2 sırasında mevcut çatlaklar genişlemiş, yeni çatlaklar oluşmuştur.
- ✓ 2.00×D2 sırasında mevcut çatlaklar genişlemiş, yeni çatlaklar oluşmuştur.

Numunenin deney sonrası fotoğrafları Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. LSM1'in deney sonundaki çatlak gelişim ve yapısal hasar durumu.

• **LSM2:**

- ✓ 0.10×D1 sırasında herhangi bir yapısal hasar gözlenmemiştir.
- ✓ 0.25×D1 sırasında herhangi bir yapısal hasar gözlenmemiştir.
- ✓ 0.50×D1 sırasında yeni çatlaklar oluşmuştur. Test öncesi numune üzerinde bulunan çatlaklar ise genişlemeye başlamıştır.
- ✓ 0.75×D1 sırasında yeni çatlaklar oluşmuştur. Numunenin masaya bağlantısında yetersizlik olmasından dolayı tabanda bir miktar dönme hareketi gözlenmiştir.
- ✓ 1.00×D1 sırasında tabandaki dönme hareketleri arttığı için bu aşamada yer bağlantıları sıkılanmış ve deney adımı tekrarlanmıştır. Mevcut çatlakların uzunluğu bir miktar artmıştır.
- ✓ 0.50×D2 sırasında mevcut çatlaklar genişlemiştir, ancak boylarında kayda değer bir uzama olmamıştır.
- ✓ 1.00×D2 sırasında mevcut çatlaklar genişlemiş, yeni çatlaklar oluşmuştur.

- ✓ 1.50×D2 sırasında mevcut çatlaklar genişlemiş, yeni çatlaklar oluşmuştur.
- ✓ 2.00×D2 sırasında numune tabanının yaklaşık 40 cm üzerinden yarılarak 4-5 cm kadar ayrılmıştır. Bu hareket, video kaydından alınmış olan Şekil 3.2'deki anlık görüntüde gösterilmektedir.



Şekil 3.2. LSM2'nin 2.00×D2 sırasında maruz kaldığı ayrılma hareketi.

Numunenin deney sonrası fotoğrafları Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. LSM2'nin deney sonundaki çatlak gelişim ve yapısal hasar durumu.

• **LSM3:**

- ✓ 0.10×D1 sırasında herhangi bir yapısal hasar gözlenmemiştir.
- ✓ 0.25×D1 sırasında herhangi bir yapısal hasar gözlenmemiştir.
- ✓ 0.50×D1 sırasında herhangi bir yapısal hasar gözlenmemiştir.
- ✓ 0.75×D1 sırasında yeni çatlaklar oluşmuştur. Test öncesi numune üzerinde bulunan çatlaklar ise genişlemeye başlamıştır.
- ✓ 1.00×D1 sırasında mevcut çatlaklar genişlemiş, yeni çatlaklar oluşmuştur.
- ✓ 0.50×D2 sırasında numunenin masaya bağlantısında yetersizlik olmasından dolayı tabanda bir miktar dönme hareketi gözlenmiştir. Bu aşamada yer bağlantıları sıkılanmış ve deney adımı tekrarlanmıştır. Mevcut çatlakların uzunluğu bir miktar artmış, yeni çatlaklar oluşmuştur.
- ✓ 1.00×D2 sırasında mevcut çatlaklar genişlemiş, yeni çatlaklar oluşmuştur.
- ✓ 1.50×D2 sırasında numune tabanın yaklaşık 40 cm üzerinden yarılarak 4-5 cm kadar ayrılmıştır.
- ✓ 2.00×D2 sırasında ayrılma yüzeyi ilerleyerek tüm kesit tamamıyla tabanın yaklaşık 40 cm üzerinden ayrılmıştır (Şekil 3.4). Numune yıkılmak üzereyken test durdurulmuştur.



Şekil 3.4. LSM2'nin 2.00×D2 sırasında maruz kaldığı ayrılma hareketi.

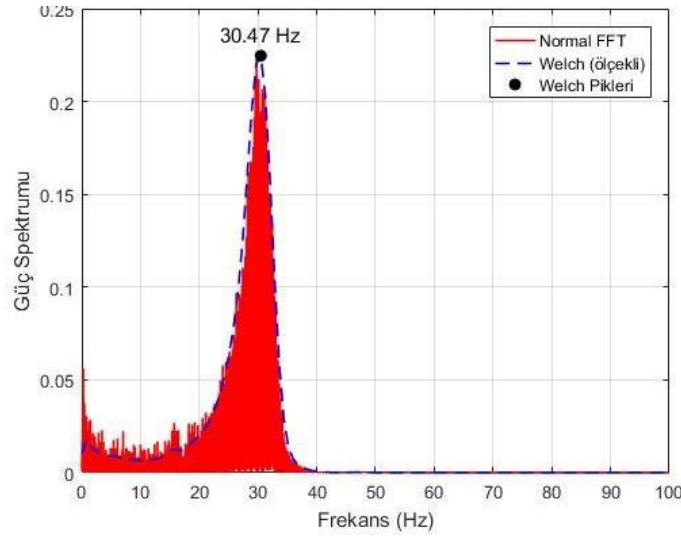
Numunenin deney sonrası fotoğrafları Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. LSM3'ün deney sonundaki çatlak gelişim ve yapısal hasar durumu.

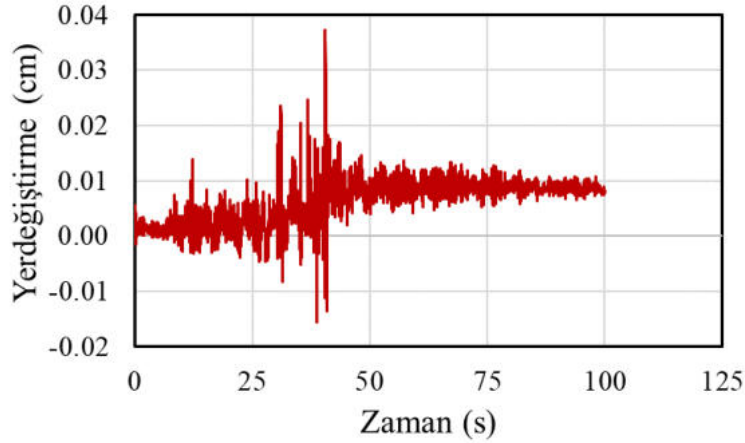
3.2. Sensör Verileri

Numunelere deprem kayıtlarının uygulanmasının öncesi ve sonrasında çekiç testleri sonrası serbest titreşim analizi yapılmıştır. Titreşim özelliklerinin belirlenmesi amacıyla, okunan ivme büyüklükleri kullanılarak Fast Fourier Transform (FFT) analizi yapılmıştır. Buna göre, deneyler öncesi yığma duvarların baskın titreşim frekansı yaklaşık 30 Hz, baskın titreşim periyodu ise yaklaşık 0.03 s olarak belirlenmiştir (Şekil 3.4). Deneyler sırasında duvarlarda çatlak oluşumlarıyla birlikte baskın titreşim periyodunda bir miktar uzama olmuştur.



Şekil 3.4. Yığma duvar titreşim özelliklerinin belirlenmesi.

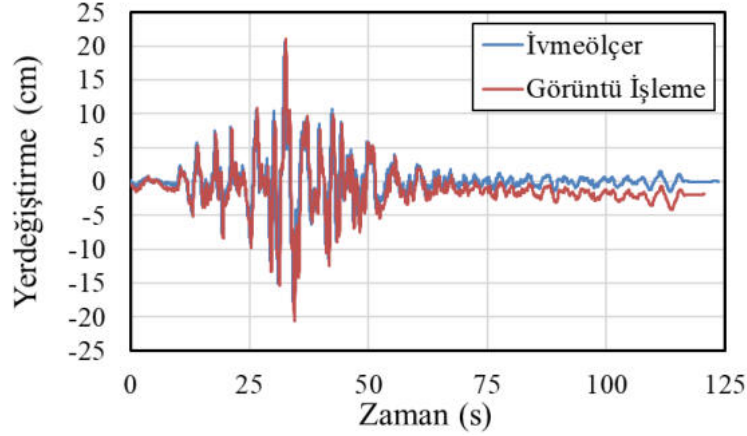
Taban kesitinde meydana gelen beton-alker ara yüzey ayrılması (kayma) hareketi deneyler boyunca iki adet CDP-25 tipi yerdeğiştirmeölçer ile kaydedilmiştir. Örnek olarak *LSM1*'in $2.00 \times D2$ altında kaydedilen davranışı Şekil 3.5'te paylaşılmıştır. Buna göre, sarsma masasına uygulanan en yüksek yer hareketi düzeyinde dahi ara yüzey ayrılması miktarı yalnızca 0.04 cm ile sınırlı kalmıştır.



Şekil 3.5. Taban kesitinde meydana gelen beton-alker ara yüzey ayrılması (kayma) ölçümü (*LSM1*'in $2.00 \times D2$ altında kaydedilen davranışı).

Numune üzerine yerleştirilen referans işaretleyiciler kullanılarak görüntü işleme yöntemi uygulanmış ve sarsma masası deneyleri boyunca numunenin yerdeğiştirmesi takip edilmiştir. Buna ek olarak, numune üzerine yerleştirilen ivmeölçerlerde kaydedilen ivme büyüklüklerinden birtakım matematiksel operasyonlarla yerdeğiştirme büyüklükleri elde

edilmiştir. Her iki yöntemle hesaplanan yerdeğiştirme zaman serileri örnek olarak *LSM1*'in $2.00 \times D2$ altında kaydedilen davranışı için Şekil 3.6'da paylaşılmıştır. Buna göre her iki yöntem uyumlu sonuç vermiş ve ölçüm düzeneğinin güvenilirliğini kanıtlamıştır.



Şekil 3.6. Görüntü işleme yöntemi ve ivmeölçer verisi ile elde edilen yerdeğiştirme zaman serilerinin karşılaştırması (*LSM1*'in $2.00 \times D2$ altında kaydedilen davranışı).

Her bir deney numunesinin farklı ölçek katsayılarıyla uygulanan farklı deprem yer hareketleri için kaydedilen sensör verileri Ek A'da sunulmuştur.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, farklı üretim teknikleriyle inşa edilmiş üç alker duvar numunesinin kendi ağırlıkları etkisinde (ilave kütle kullanmaksızın) sismik davranışları, sarsma masası deneyleri yoluyla incelenmiş ve deprem etkisinde çatlak gelişimleri, deformasyonlar ve yapısal bütünlük düzeyleri karşılaştırılmıştır. L-kesitli ve eş geometrik özelliklere sahip *LSM1*, *LSM2* ve *LSM3* numuneleri üzerinde yürütülen testler sonucunda aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır:

- Masif olarak inşa edilen *LSM1*, orta düzeyde hasarla testleri tamamlamış; inşa sırasında yatay esneklik kazandırılan *LSM2*, yüksek ivme seviyelerinde parçalı ayrılmalar yaşamış; sonradan esnekleştirilen *LSM3* ise deneyin son adımında tam kesit ayrılmasıyla yıkılma sınırına ulaşmıştır.

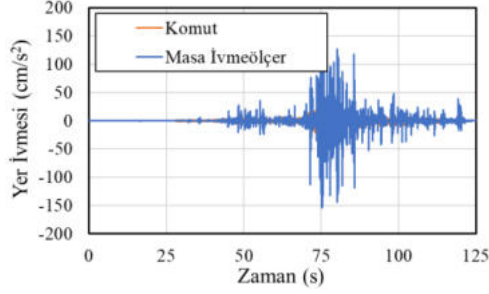
- *LSM3* numunesi deneylerin son basamağı olan $2.00 \times D2$ yüklemesi altında, tabanından yaklaşık 40 cm yukarıdan tamamen ayrılmış ve test güvenlik gerekçesiyle durdurulmuştur. Bu

durum, *LSM3*'ün çatlak oluşumu açısından en geç hasar gören numune olmasına rağmen, nihai yapısal hasar bakımından en zayıf davranışı gösterdiğini ortaya koymaktadır.

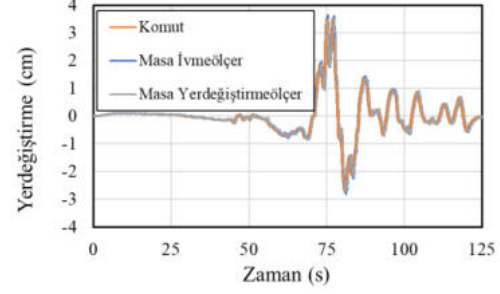
- Tüm numunelerde çatlak gelişimleri ağırlıklı olarak üst betonarme hatıl ile alker bölüm birleşim yüzeyinde yoğunlaşmış, burulma etkileri ve yatay kayma çatlakları özellikle kısa kolda daha belirgin hale gelmiştir.

- Beton-alker ara yüzeyindeki kayma hareketleri genel olarak sınırlı kalmış, en yüksek seviyede rölatif yerdeğiştirme 0.04 cm ile sınırlanmıştır. Bu durum, yeterli aderans koşulunda birleşim bölgelerinin görece rijit davrandığını göstermektedir.

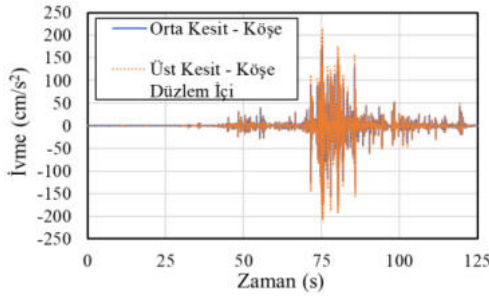
EK A: SARSMA MASASI SENSÖR VERİLERİ



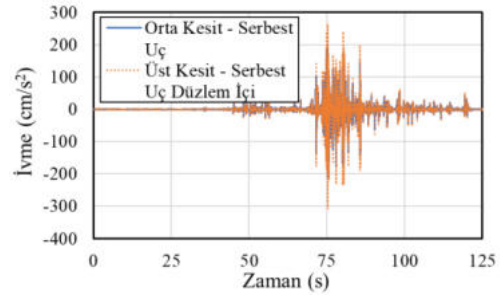
(a) Masa seviyesi ivme zaman serisi



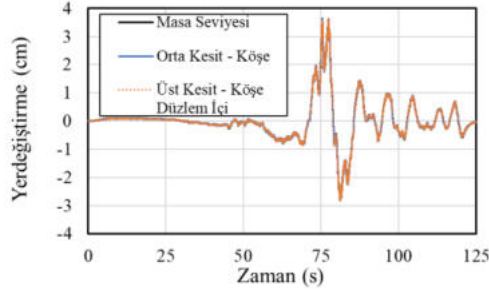
(b) Masa seviyesi yerdeğiştirme zaman serisi



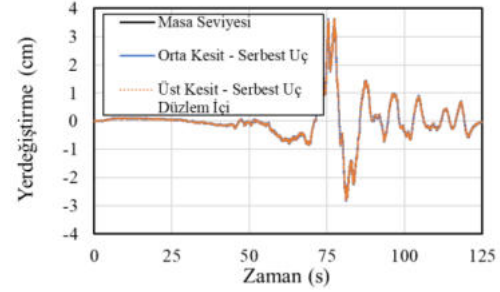
(c) Yükseklik boyunca ivme profili
(köşe)



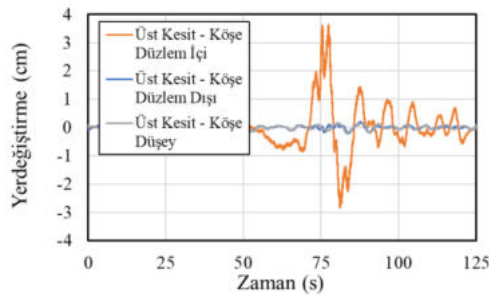
(d) Yükseklik boyunca ivme profili
(serbest uç)



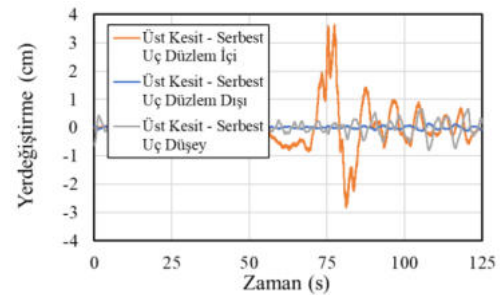
(e) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(köşe)



(f) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(serbest uç)

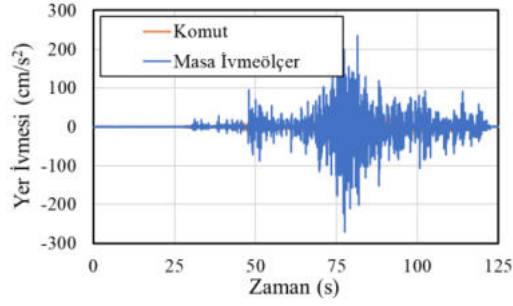


(g) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(köşe)

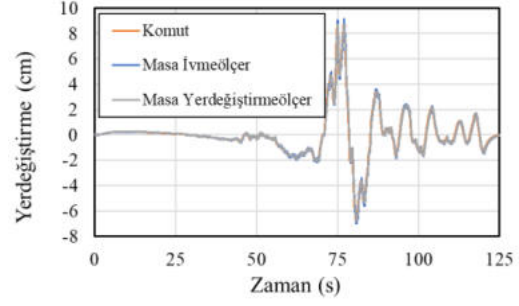


(h) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(serbest uç)

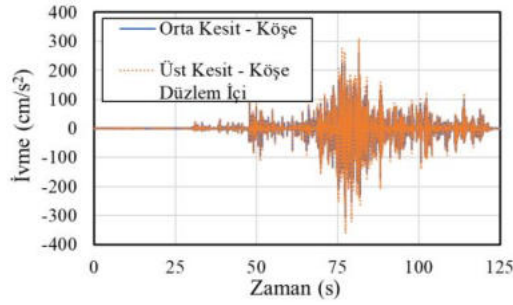
Şekil A.1. LSM1'in 0.10×D1 altındaki sensör verileri.



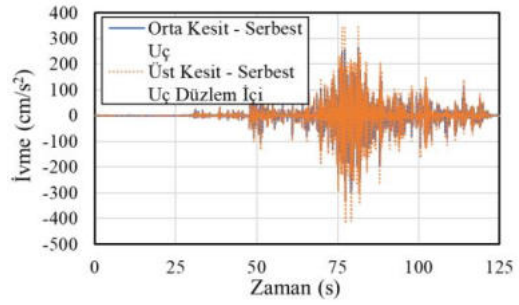
(a) Masa seviyesi ivme zaman serisi



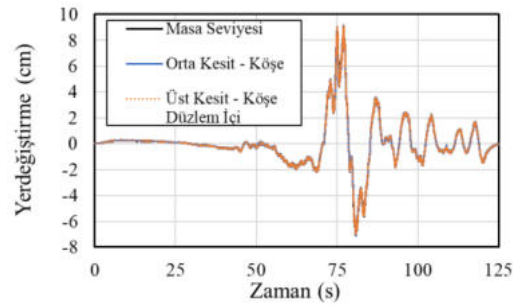
(b) Masa seviyesi yerdeğiştirme zaman serisi



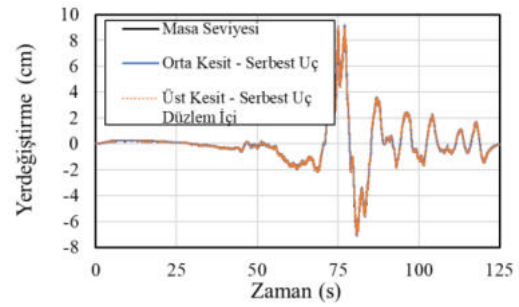
(c) Yükseklik boyunca ivme profili
(köşe)



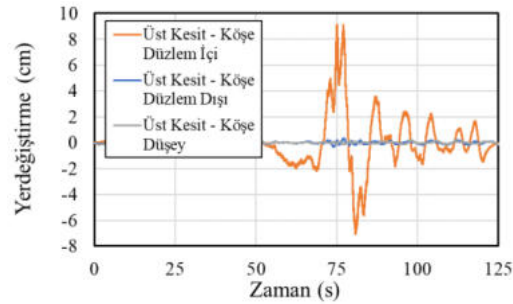
(d) Yükseklik boyunca ivme profili
(serbest uç)



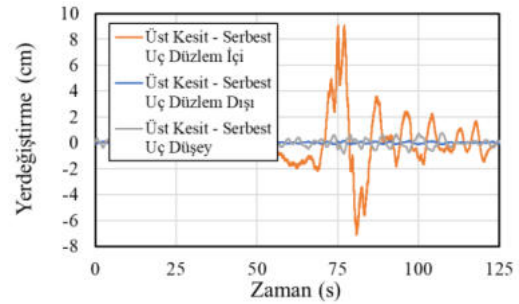
(e) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(köşe)



(f) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(serbest uç)

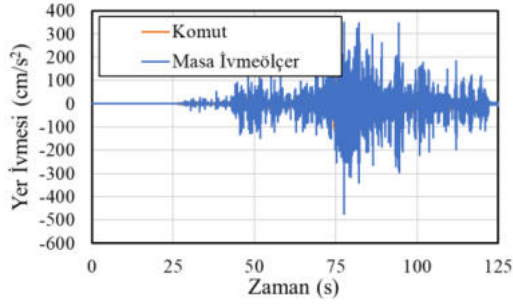


(g) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(köşe)

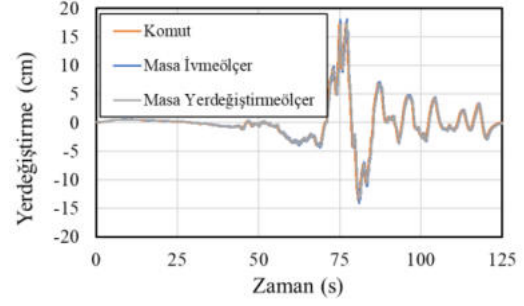


(h) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(serbest uç)

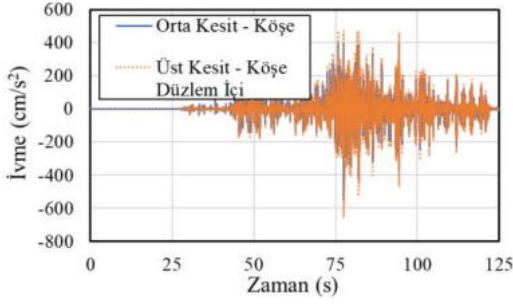
Şekil A.2. *LSMI*'in $0.25 \times D1$ altındaki sensör verileri.



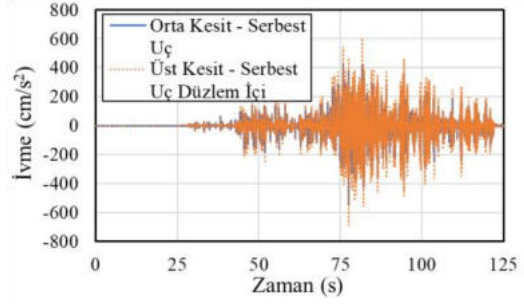
(a) Masa seviyesi ivme zaman serisi



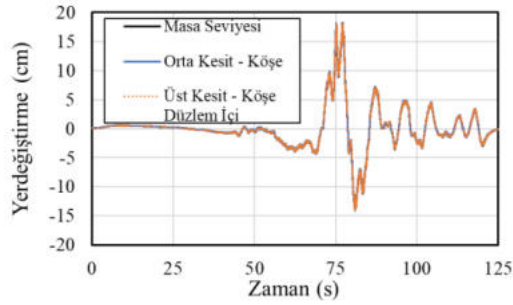
(b) Masa seviyesi yerdeğiştirme zaman serisi



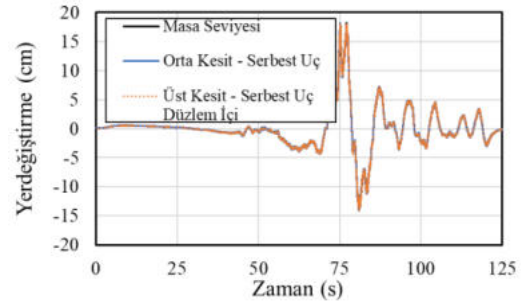
(c) Yükseklik boyunca ivme profili
(köşe)



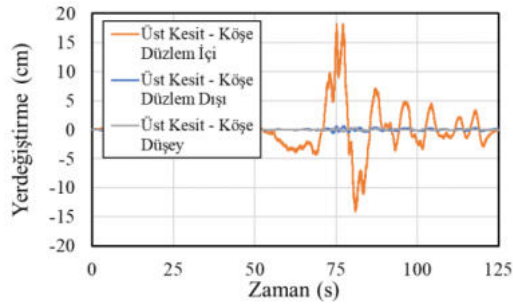
(d) Yükseklik boyunca ivme profili
(serbest uç)



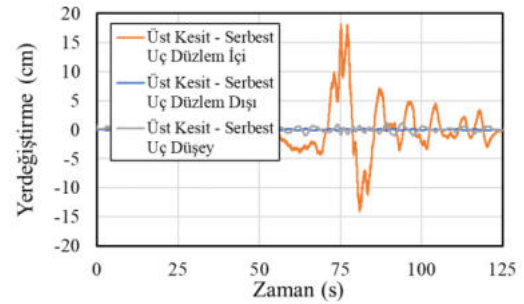
(e) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(köşe)



(f) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(serbest uç)

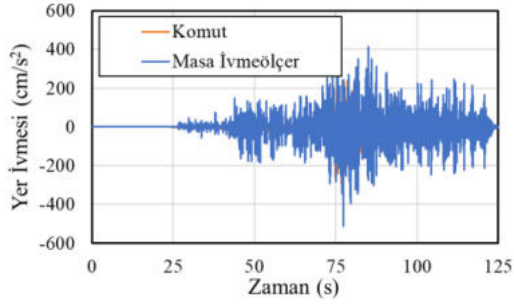


(g) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(köşe)

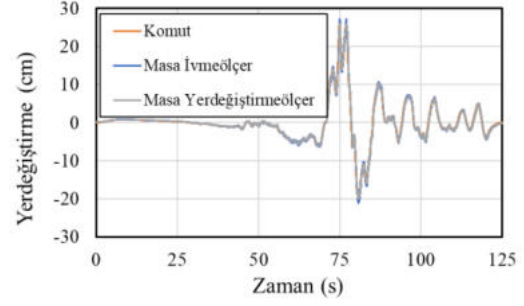


(h) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(serbest uç)

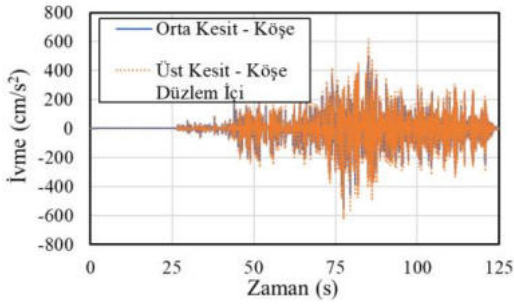
Şekil A.3. *LSMI*'in $0.50 \times D1$ altındaki sensör verileri.



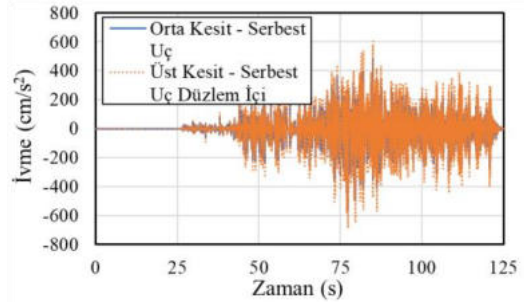
(a) Masa seviyesi ivme zaman serisi



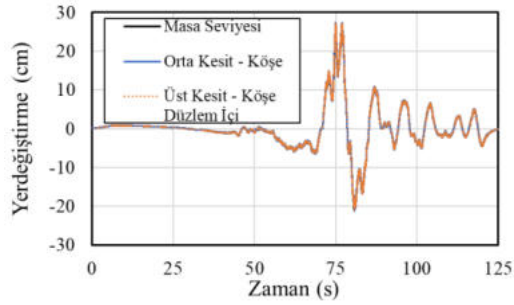
(b) Masa seviyesi yerdeğiştirme zaman serisi



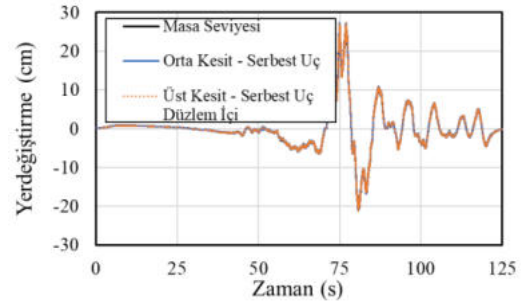
(c) Yükseklik boyunca ivme profili
(köşe)



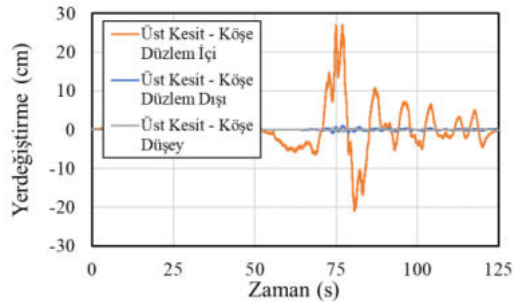
(d) Yükseklik boyunca ivme profili
(serbest uç)



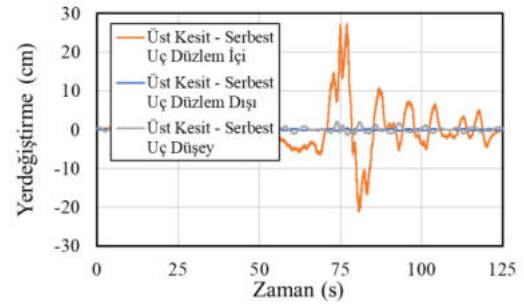
(e) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(köşe)



(f) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(serbest uç)

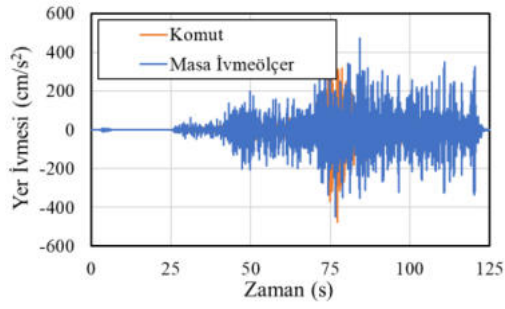


(g) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(köşe)

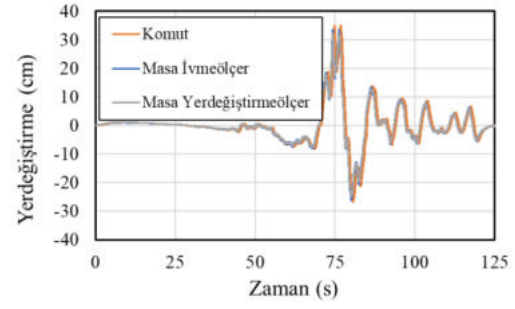


(h) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(serbest uç)

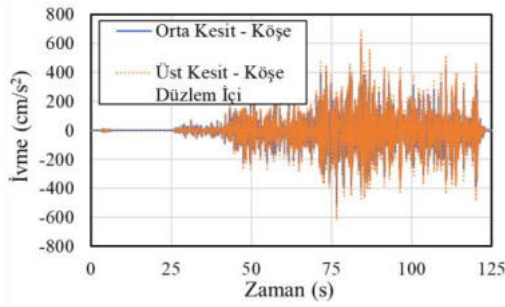
Şekil A.4. LSM1'in $0.75 \times D1$ altındaki sensör verileri.



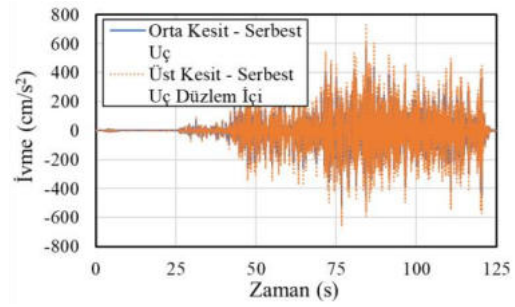
(a) Masa seviyesi ivme zaman serisi



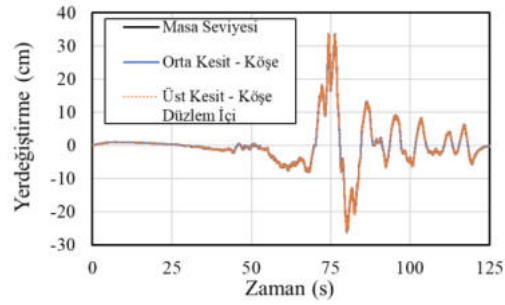
(b) Masa seviyesi yerdeğiştirme zaman serisi



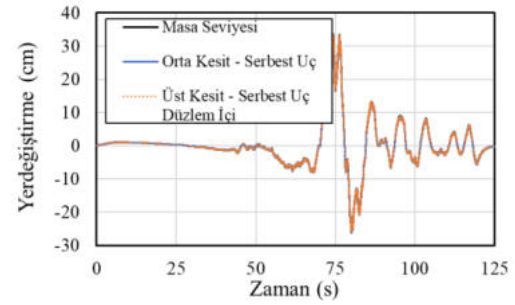
(c) Yükseklik boyunca ivme profili
(köşe)



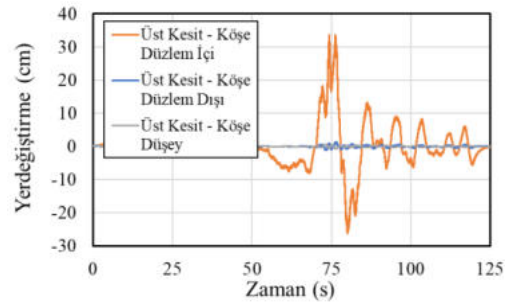
(d) Yükseklik boyunca ivme profili
(serbest uç)



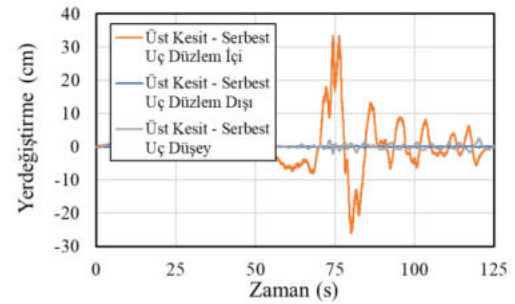
(e) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(köşe)



(f) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(serbest uç)

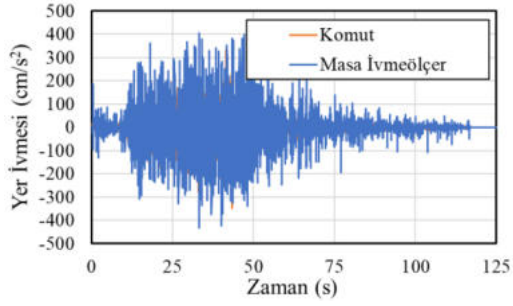


(g) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(köşe)

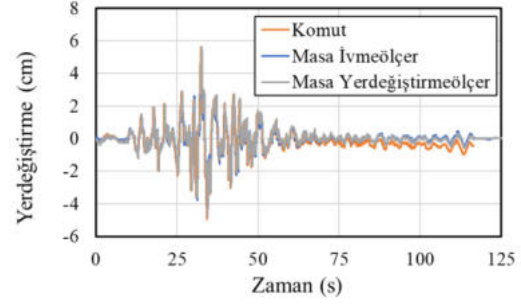


(h) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(serbest uç)

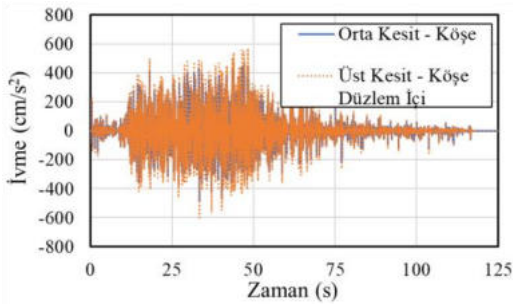
Şekil A.5. *LSMI*'in $1.00 \times D1$ altındaki sensör verileri.



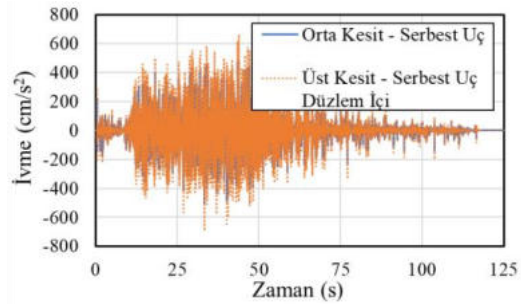
(a) Masa seviyesi ivme zaman serisi



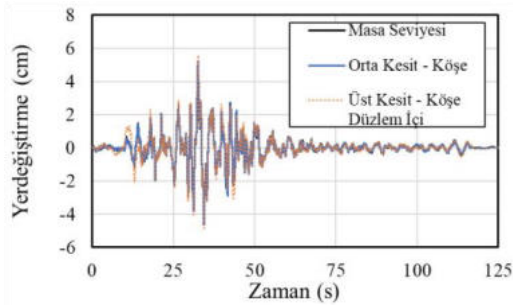
(b) Masa seviyesi yerdeğiştirme zaman serisi



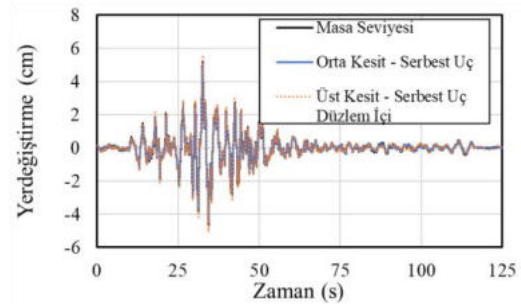
(c) Yükseklik boyunca ivme profili
(köşe)



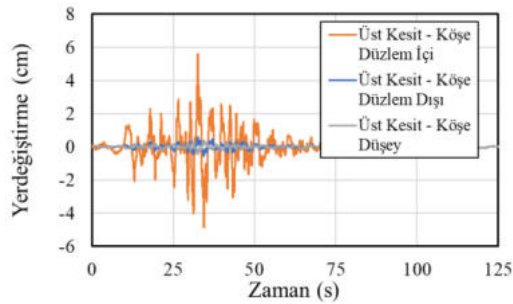
(d) Yükseklik boyunca ivme profili
(serbest uç)



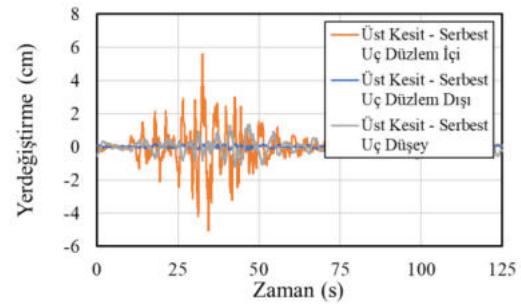
(e) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(köşe)



(f) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(serbest uç)

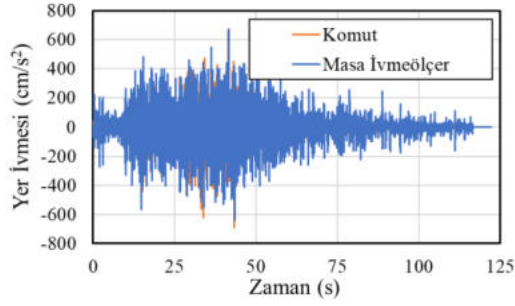


(g) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(köşe)

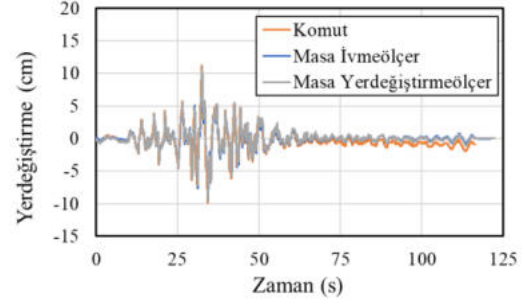


(h) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(serbest uç)

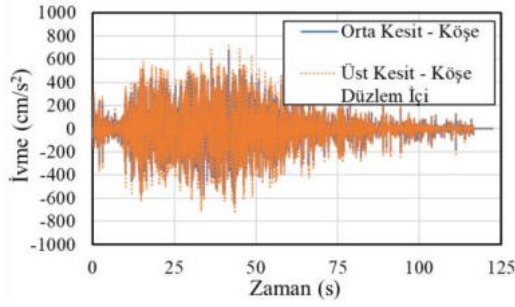
Şekil A.6. *LSM1*'in $0.50 \times D2$ altındaki sensör verileri.



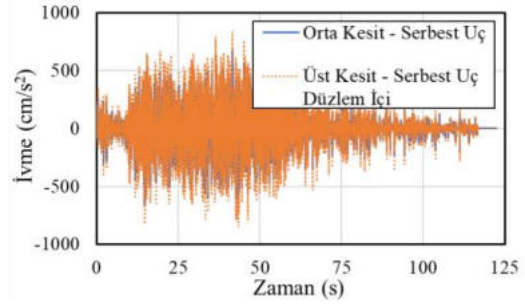
(a) Masa seviyesi ivme zaman serisi



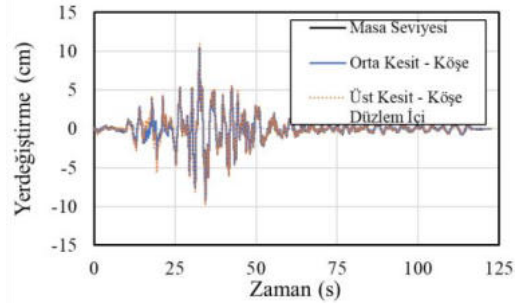
(b) Masa seviyesi yerdeğiştirme zaman serisi



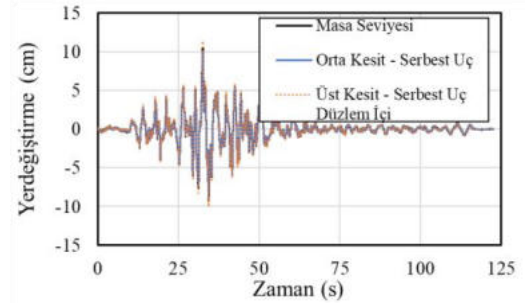
(c) Yükseklik boyunca ivme profili
(köşe)



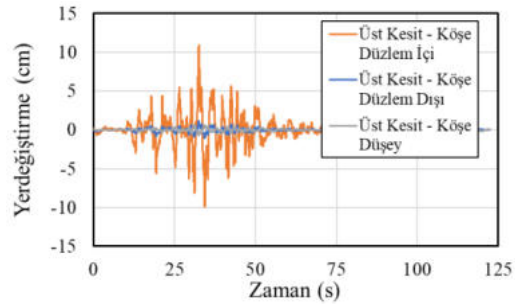
(d) Yükseklik boyunca ivme profili
(serbest uç)



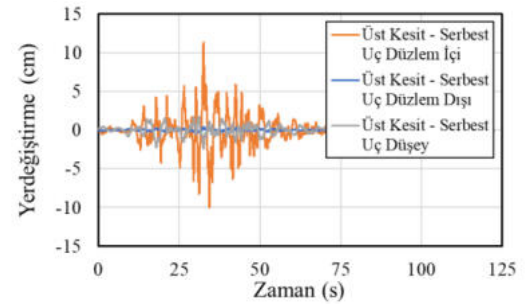
(e) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(köşe)



(f) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(serbest uç)

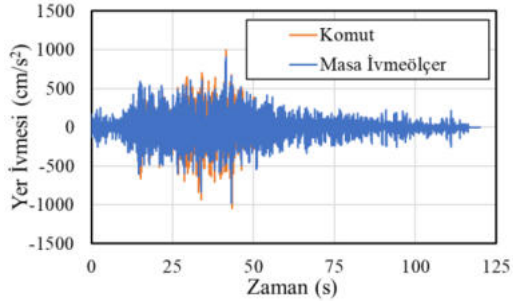


(g) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(köşe)

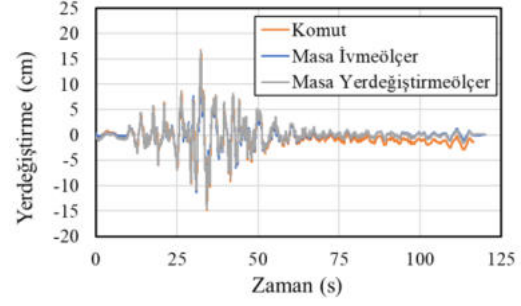


(h) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(serbest uç)

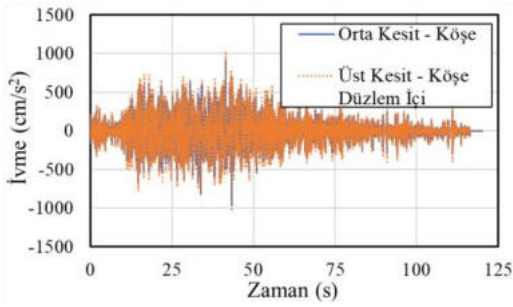
Şekil A.7. LSM1'in 1.00×D2 altındaki sensör verileri.



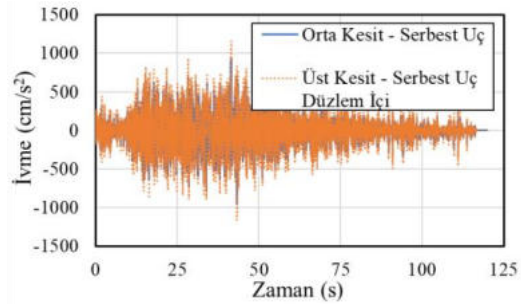
(a) Masa seviyesi ivme zaman serisi



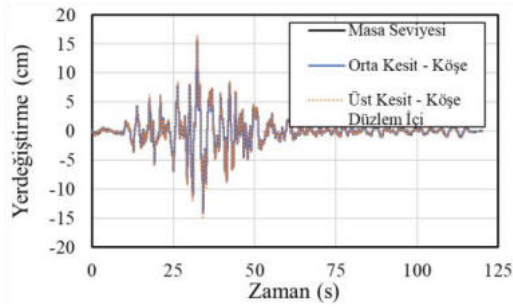
(b) Masa seviyesi yerdeğiştirme zaman serisi



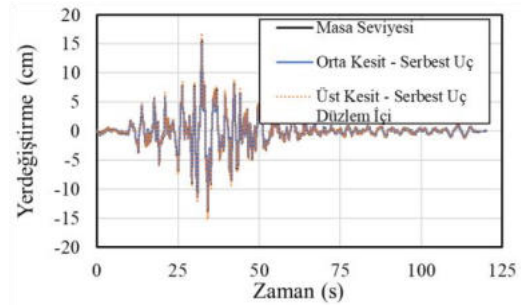
(c) Yükseklik boyunca ivme profili
(köşe)



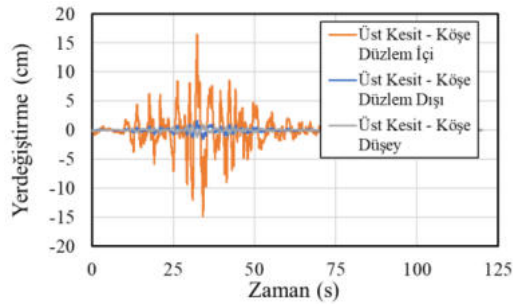
(d) Yükseklik boyunca ivme profili
(serbest uç)



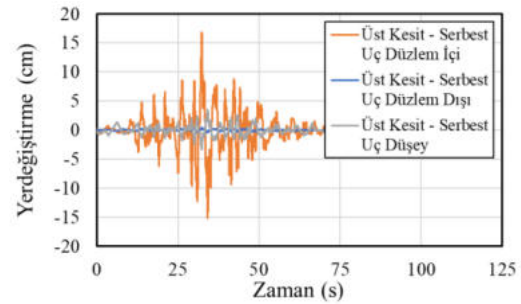
(e) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(köşe)



(f) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(serbest uç)

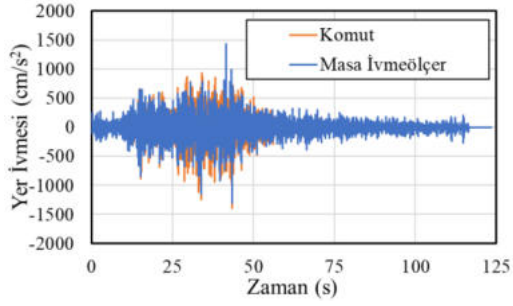


(g) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(köşe)

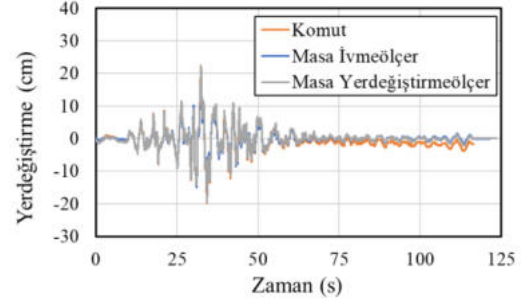


(h) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(serbest uç)

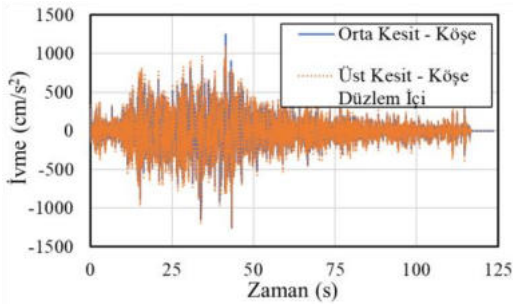
Şekil A.8. LSM1'in 1.50×D2 altındaki sensör verileri.



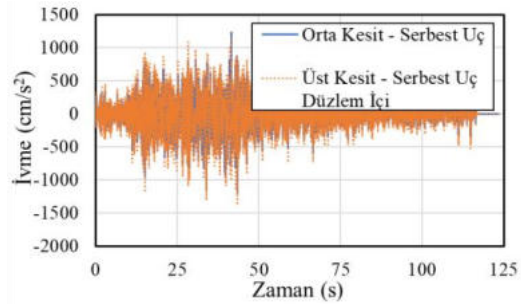
(a) Masa seviyesi ivme zaman serisi



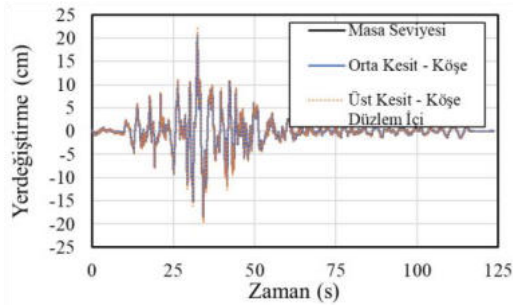
(b) Masa seviyesi yerdeğiştirme zaman serisi



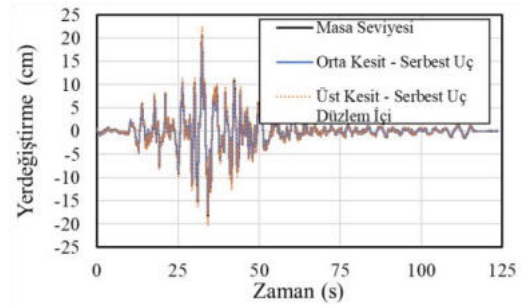
(c) Yükseklik boyunca ivme profili
(köşe)



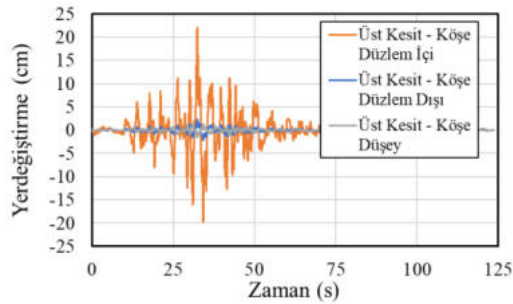
(d) Yükseklik boyunca ivme profili
(serbest uç)



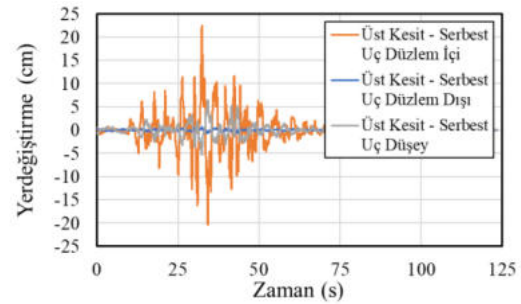
(e) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(köşe)



(f) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(serbest uç)

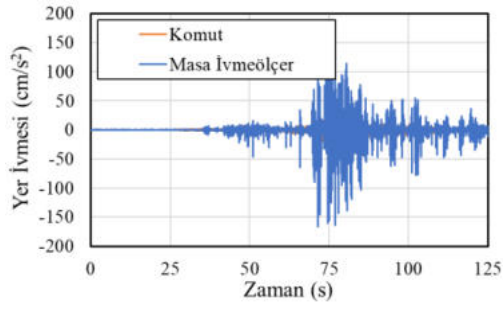


(g) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(köşe)

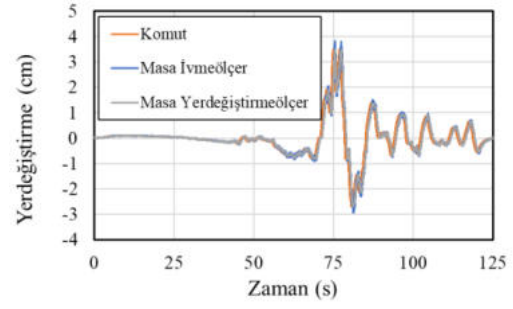


(h) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(serbest uç)

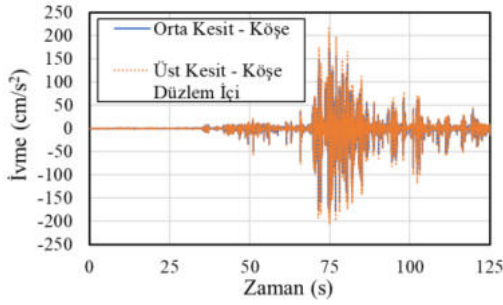
Şekil A.9. *LSM1*'in 2.00×D2 altındaki sensör verileri.



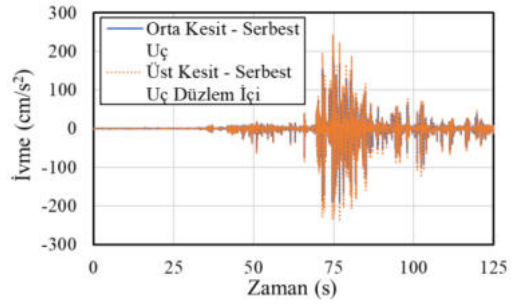
(a) Masa seviyesi ivme zaman serisi



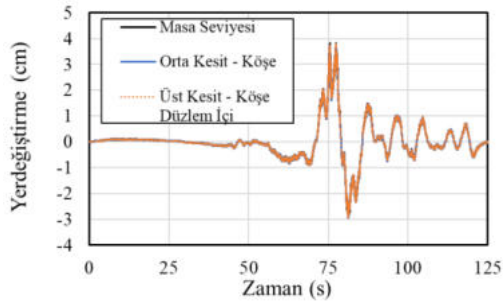
(b) Masa seviyesi yerdeğiştirme zaman serisi



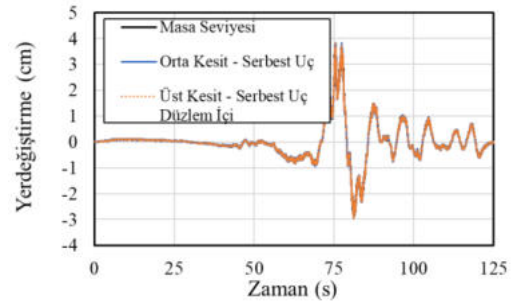
(c) Yükseklik boyunca ivme profili
(köşe)



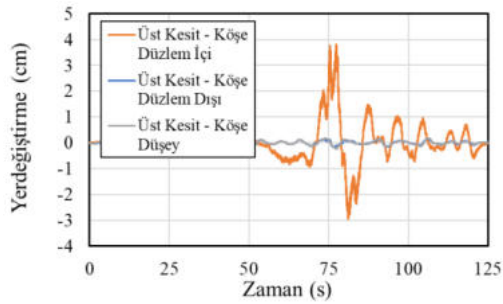
(d) Yükseklik boyunca ivme profili
(serbest uç)



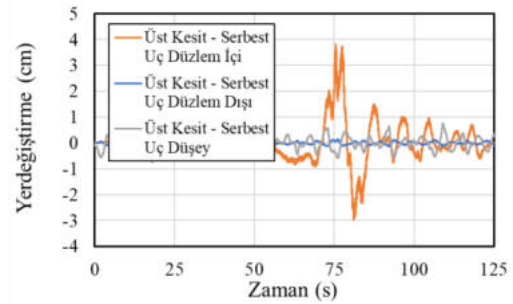
(e) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(köşe)



(f) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(serbest uç)

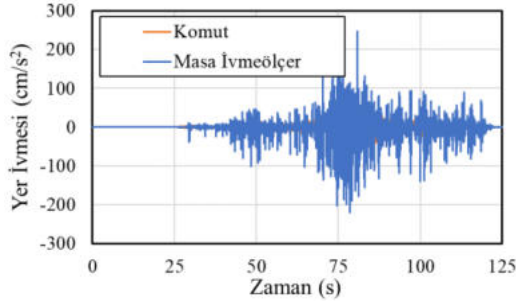


(g) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(köşe)

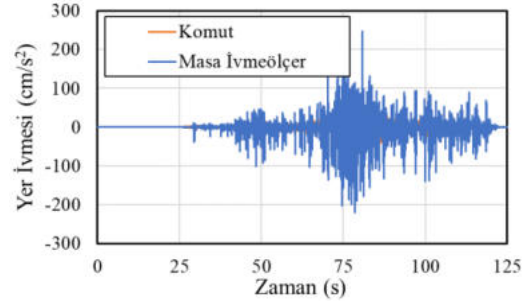


(h) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(serbest uç)

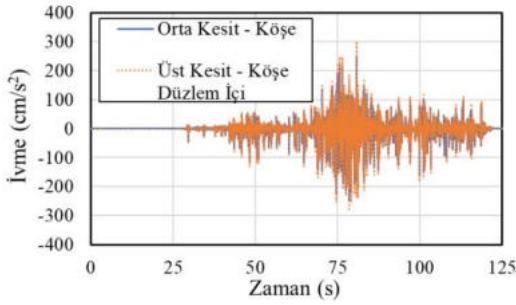
Şekil A.10. LSM2'nin 0.10×D1 altındaki sensör verileri.



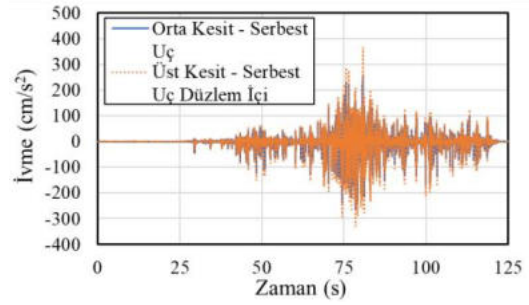
(a) Masa seviyesi ivme zaman serisi



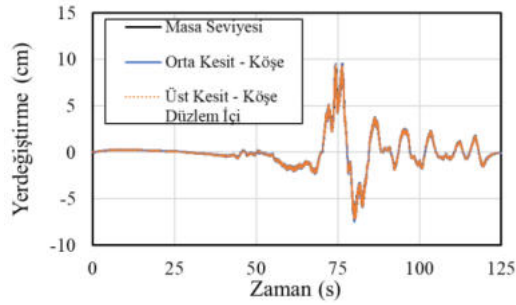
(b) Masa seviyesi yerdeğiştirme zaman serisi



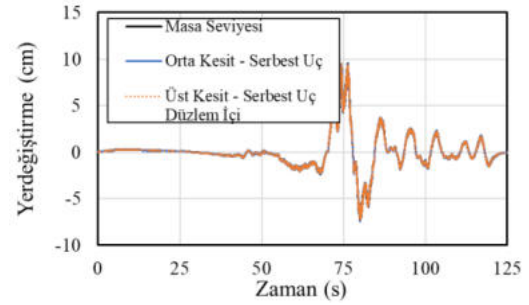
(c) Yükseklik boyunca ivme profili
(köşe)



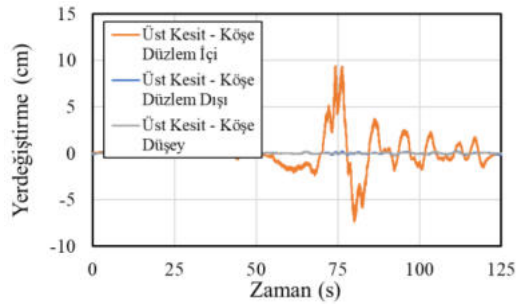
(d) Yükseklik boyunca ivme profili
(serbest uç)



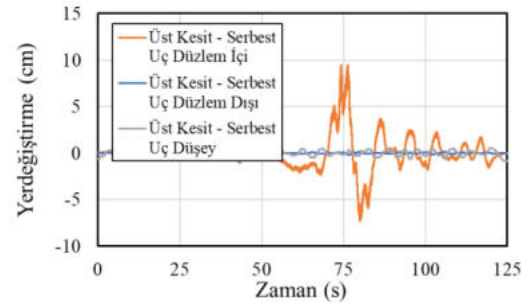
(e) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(köşe)



(f) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(serbest uç)

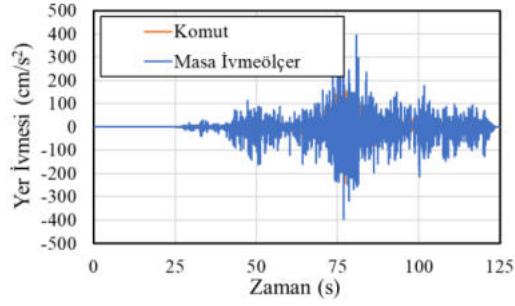


(g) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(köşe)

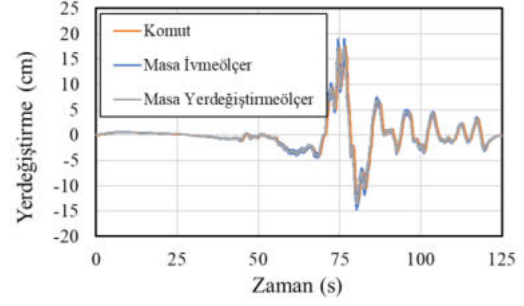


(h) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(serbest uç)

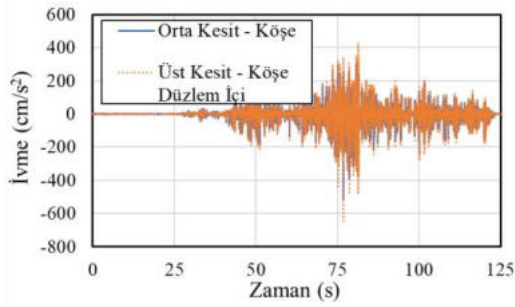
Şekil A.11. LSM2'nin 0.25×D1 altındaki sensör verileri.



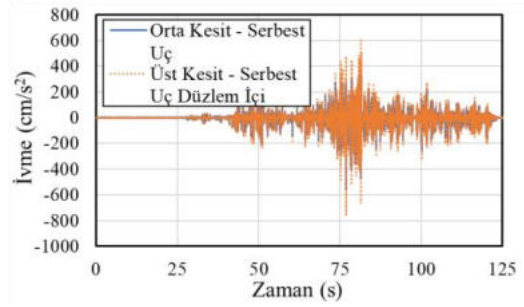
(a) Masa seviyesi ivme zaman serisi



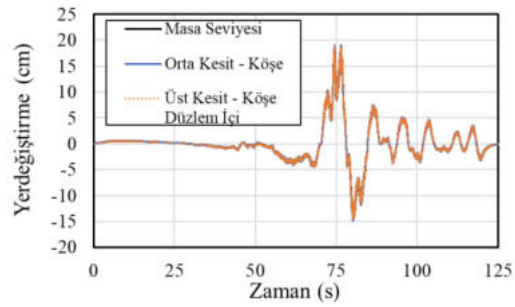
(b) Masa seviyesi yerdeğiştirme zaman serisi



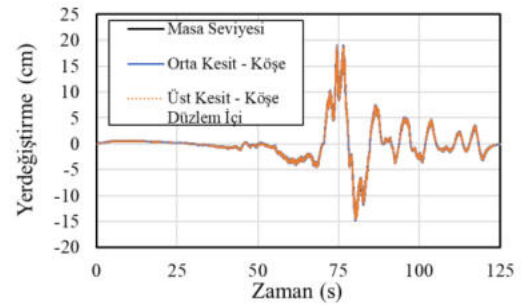
(c) Yükseklik boyunca ivme profili
(köşe)



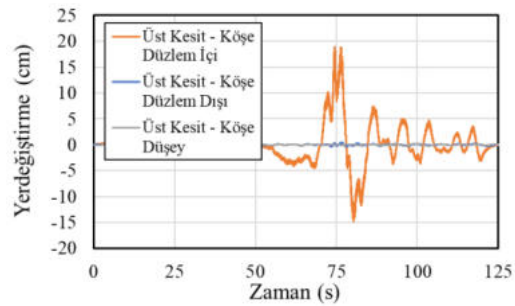
(d) Yükseklik boyunca ivme profili
(serbest uç)



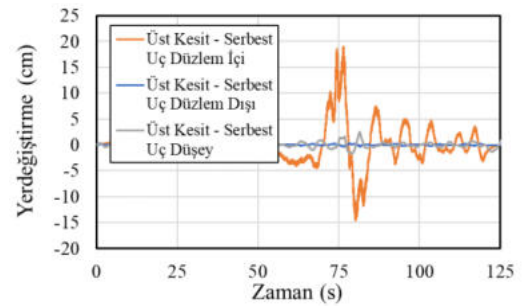
(e) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(köşe)



(f) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(serbest uç)

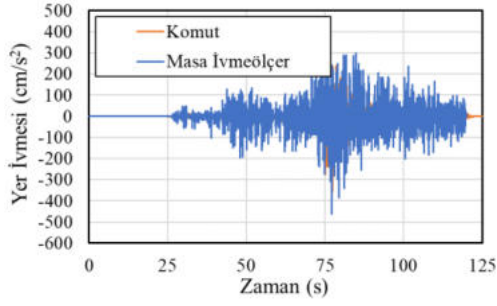


(g) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(köşe)

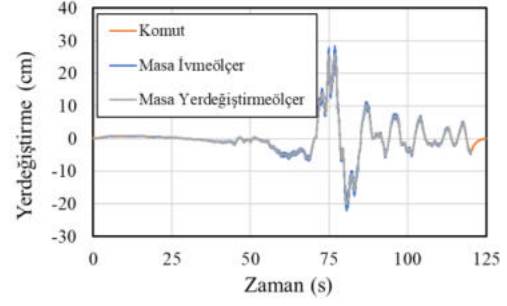


(h) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(serbest uç)

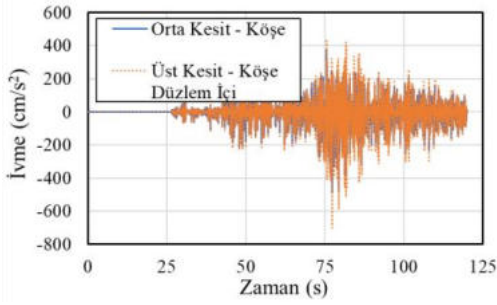
Şekil A.12. LSM2'nin 0.50×D1 altındaki sensör verileri.



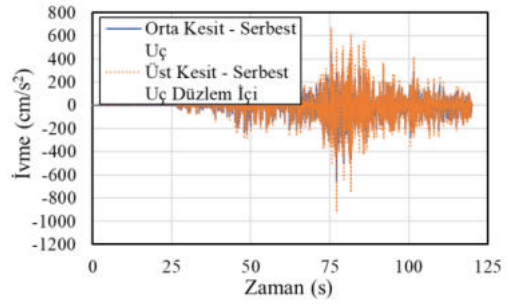
(a) Masa seviyesi ivme zaman serisi



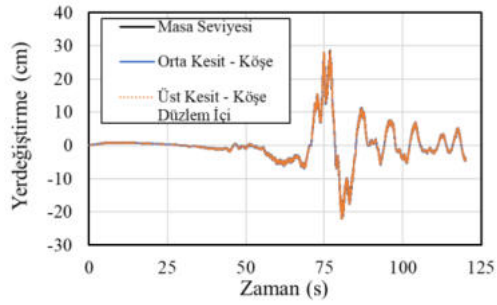
(b) Masa seviyesi yerdeğiştirme zaman serisi



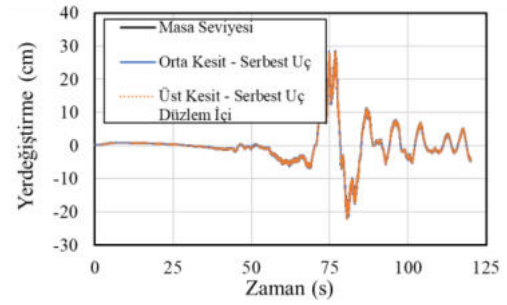
(c) Yükseklik boyunca ivme profili
(köşe)



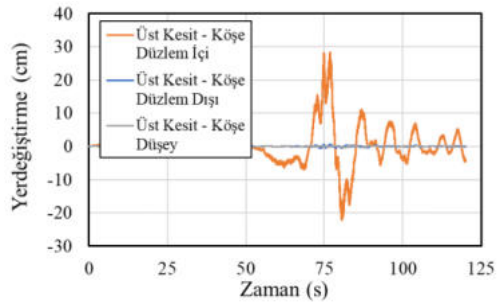
(d) Yükseklik boyunca ivme profili
(serbest uç)



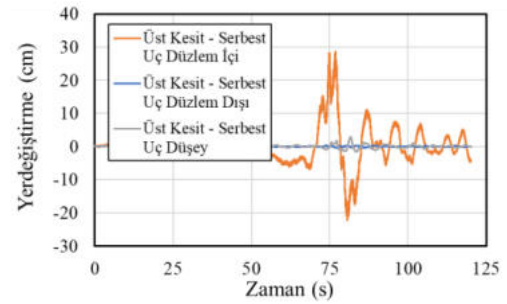
(e) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(köşe)



(f) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(serbest uç)

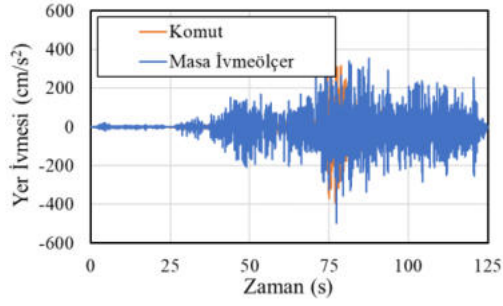


(g) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(köşe)

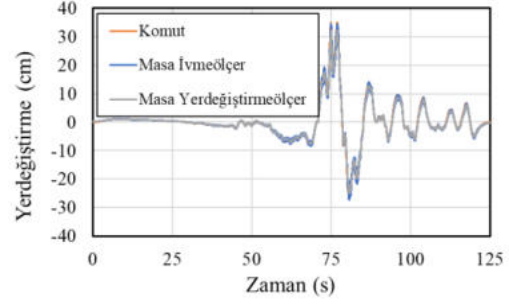


(h) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(serbest uç)

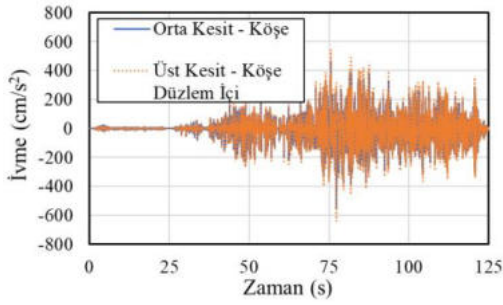
Şekil A.13. LSM2'nin 0.75×D1 altındaki sensör verileri.



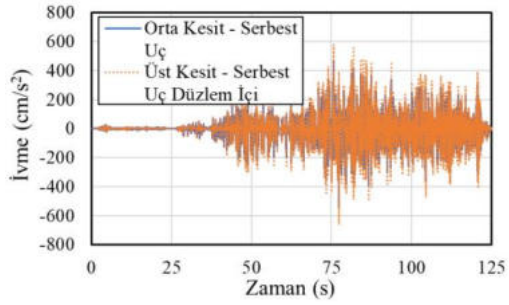
(a) Masa seviyesi ivme zaman serisi



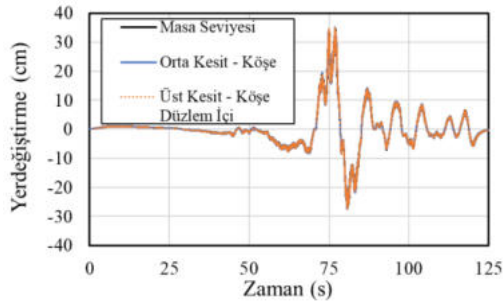
(b) Masa seviyesi yerdeğiştirme zaman serisi



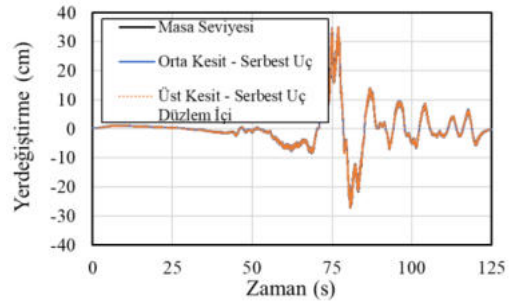
(c) Yükseklik boyunca ivme profili
(köşe)



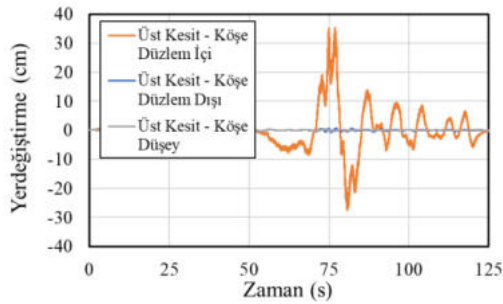
(d) Yükseklik boyunca ivme profili
(serbest uç)



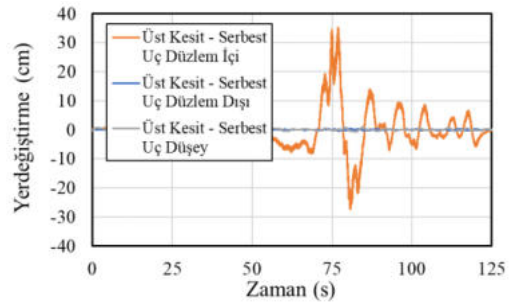
(e) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(köşe)



(f) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(serbest uç)

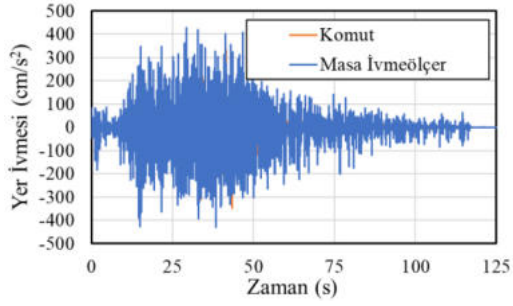


(g) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(köşe)

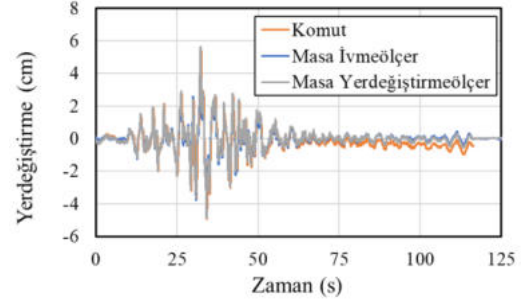


(h) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(serbest uç)

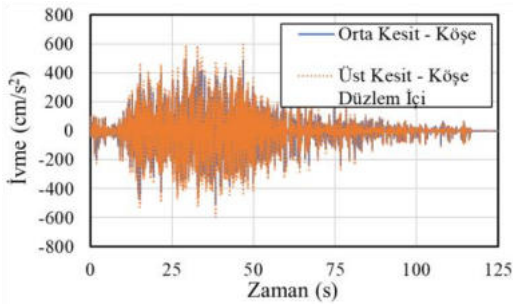
Şekil A.14. LSM2'nin 1.00×D1 altındaki sensör verileri.



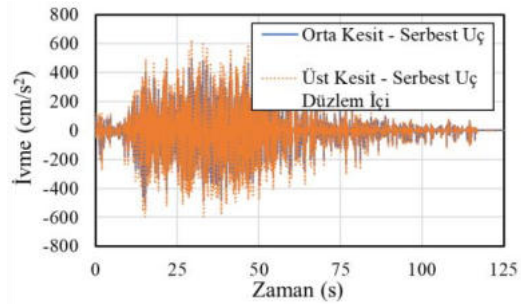
(a) Masa seviyesi ivme zaman serisi



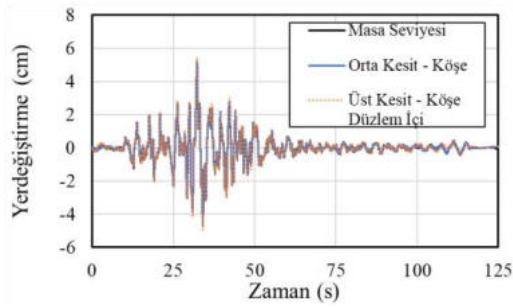
(b) Masa seviyesi yerdeğiştirme zaman serisi



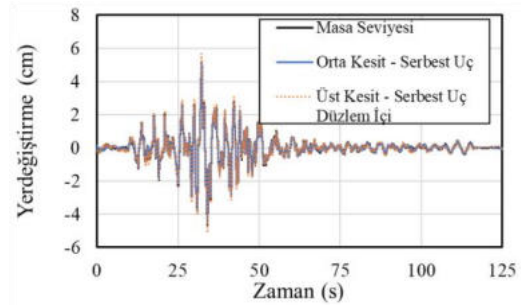
(c) Yükseklik boyunca ivme profili
(köşe)



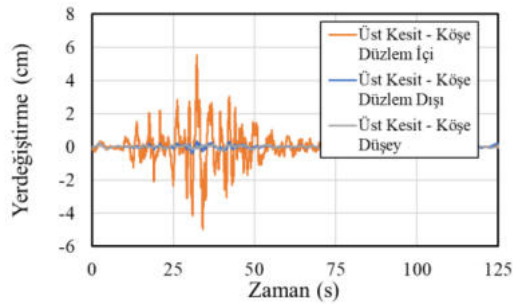
(d) Yükseklik boyunca ivme profili
(serbest uç)



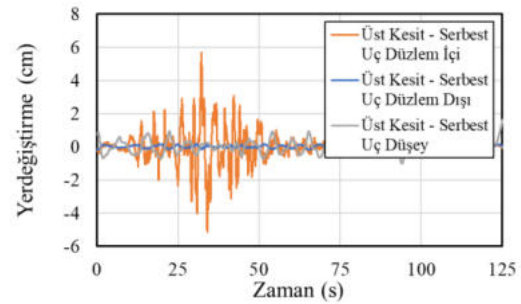
(e) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(köşe)



(f) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(serbest uç)

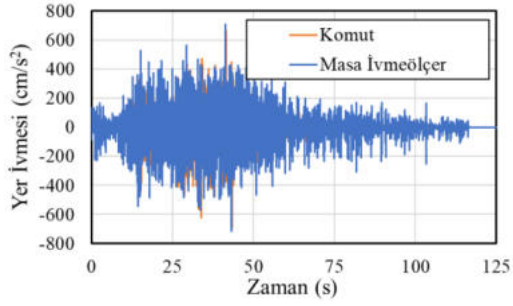


(g) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(köşe)

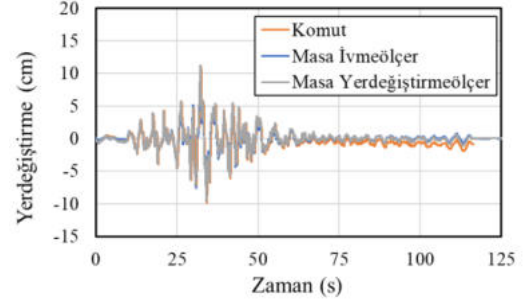


(h) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(serbest uç)

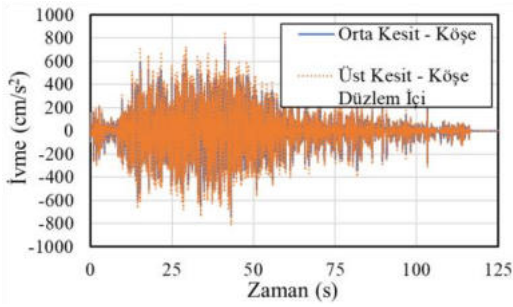
Şekil A.15. LSM2'nin 0.50×D2 altındaki sensör verileri.



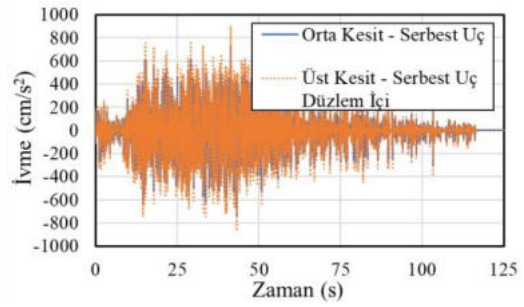
(a) Masa seviyesi ivme zaman serisi



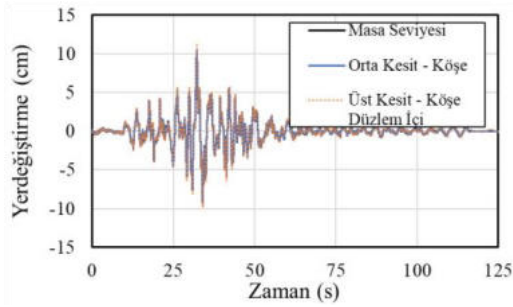
(b) Masa seviyesi yerdeğiştirme zaman serisi



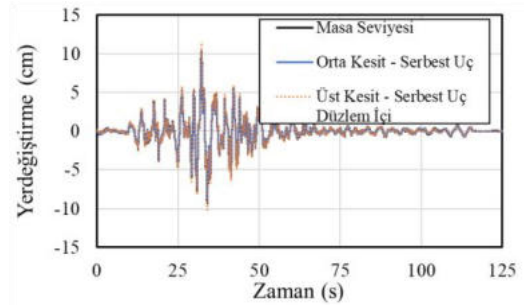
(c) Yükseklik boyunca ivme profili
(köşe)



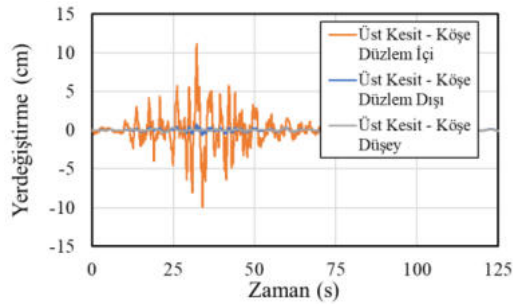
(d) Yükseklik boyunca ivme profili
(serbest uç)



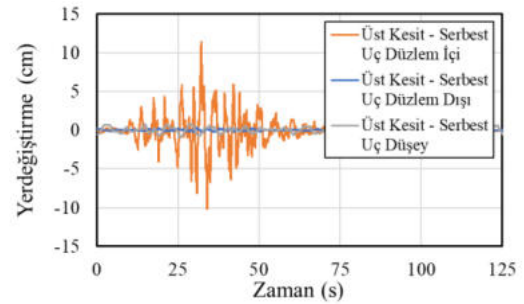
(e) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(köşe)



(f) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(serbest uç)

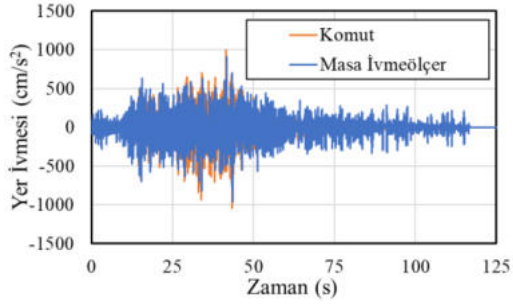


(g) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(köşe)

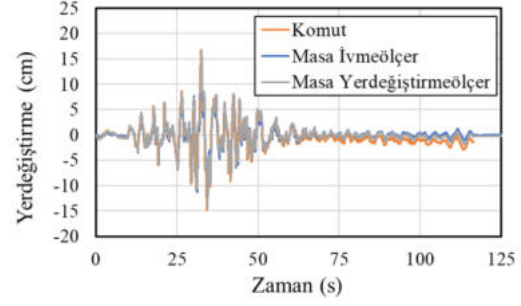


(h) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(serbest uç)

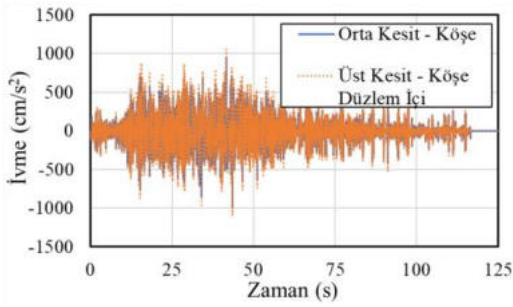
Şekil A.16. LSM2'nin 1.00×D2 altındaki sensör verileri.



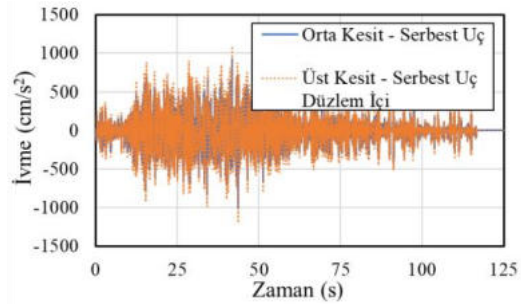
(a) Masa seviyesi ivme zaman serisi



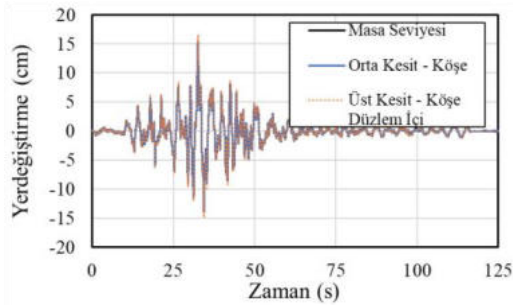
(b) Masa seviyesi yerdeğiştirme zaman serisi



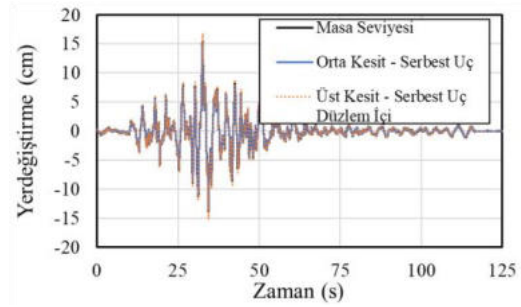
(c) Yükseklik boyunca ivme profili
(köşe)



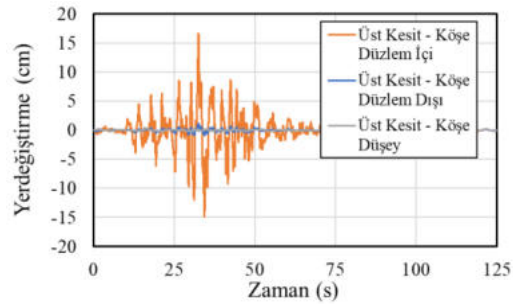
(d) Yükseklik boyunca ivme profili
(serbest uç)



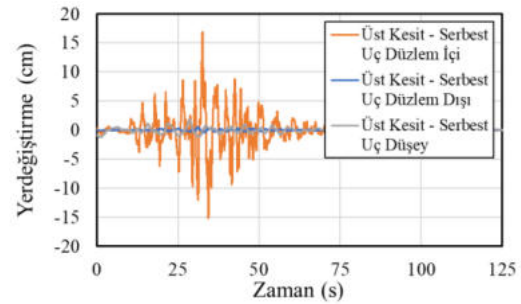
(e) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(köşe)



(f) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(serbest uç)

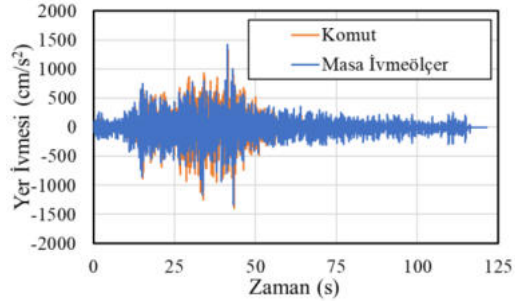


(g) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(köşe)

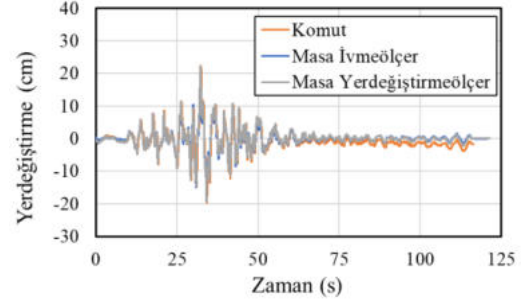


(h) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(serbest uç)

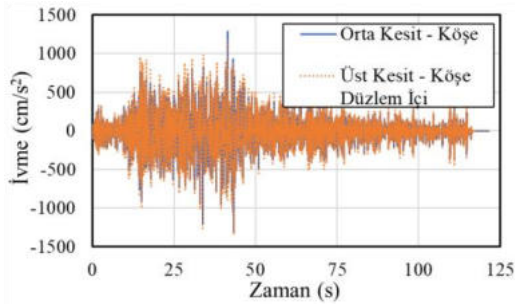
Şekil A.17. LSM2'nin 1.50×D2 altındaki sensör verileri.



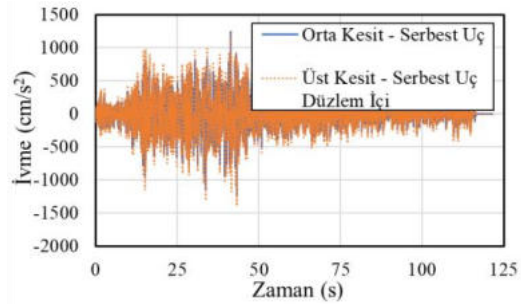
(a) Masa seviyesi ivme zaman serisi



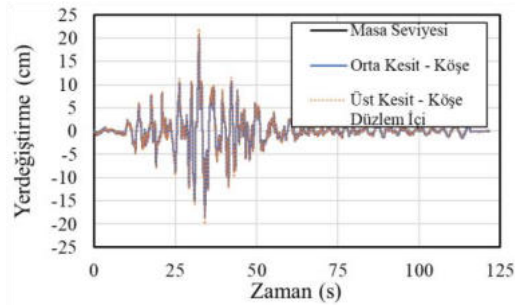
(b) Masa seviyesi yerdeğiştirme zaman serisi



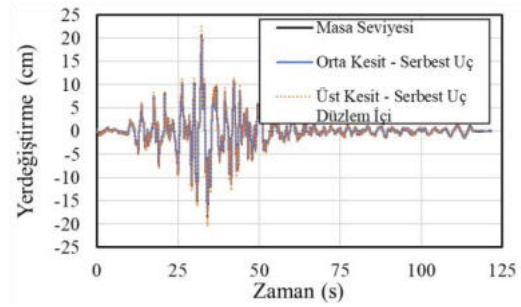
(c) Yükseklik boyunca ivme profili
(köşe)



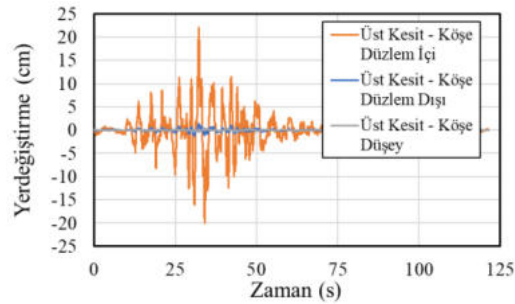
(d) Yükseklik boyunca ivme profili
(serbest uç)



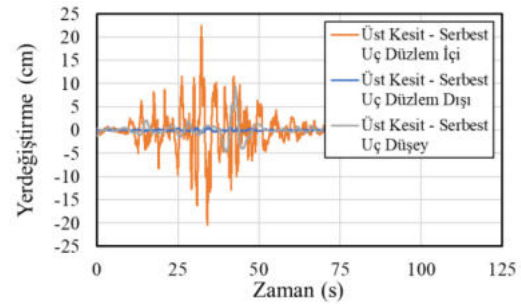
(e) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(köşe)



(f) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(serbest uç)

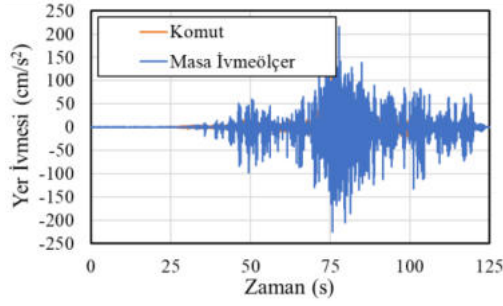


(g) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(köşe)

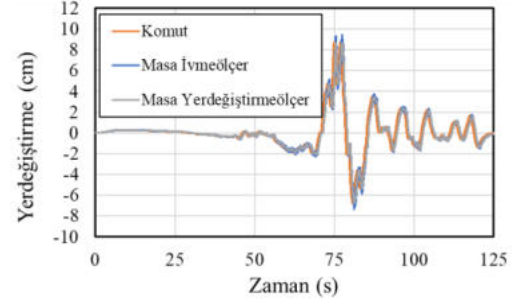


(h) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(serbest uç)

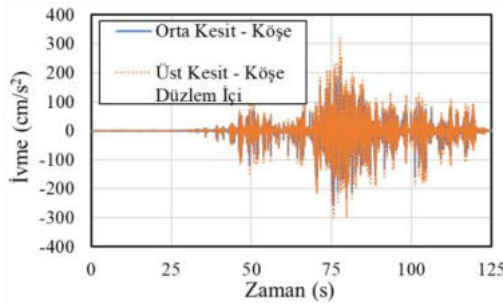
Şekil A.18. LSM2'nin 2.00×D2 altındaki sensör verileri.



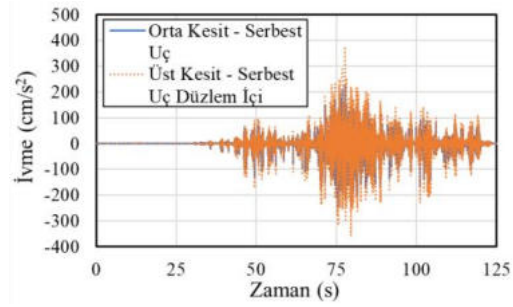
(a) Masa seviyesi ivme zaman serisi



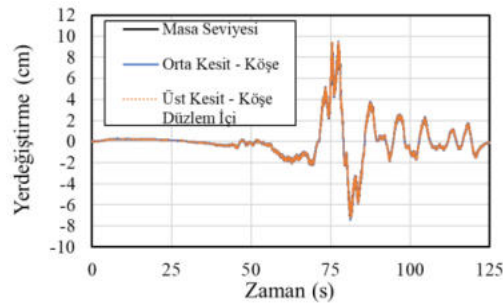
(b) Masa seviyesi yerdeğiştirme zaman serisi



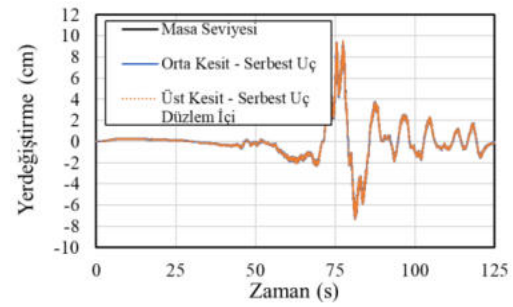
(c) Yükseklik boyunca ivme profili
(köşe)



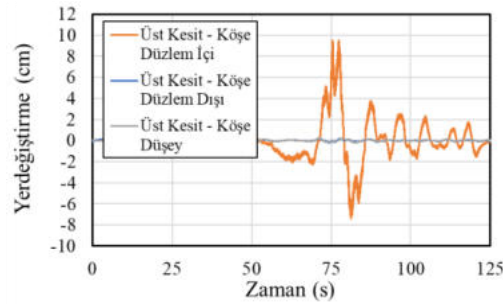
(d) Yükseklik boyunca ivme profili
(serbest uç)



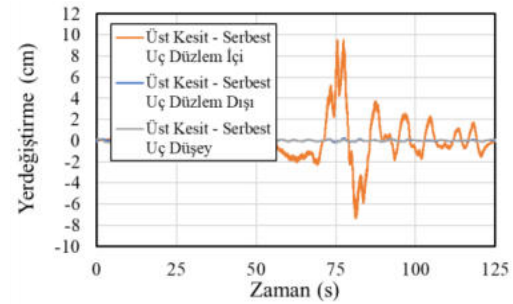
(e) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(köşe)



(f) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(serbest uç)

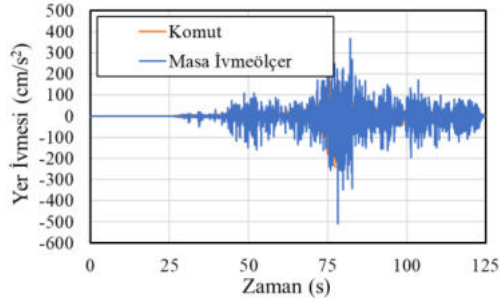


(g) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(köşe)

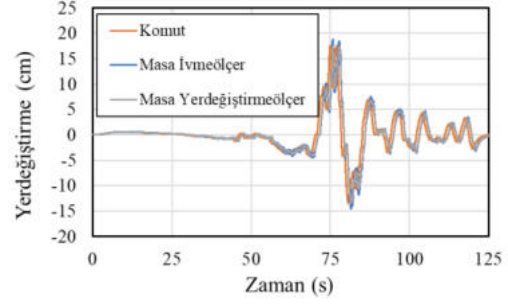


(h) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(serbest uç)

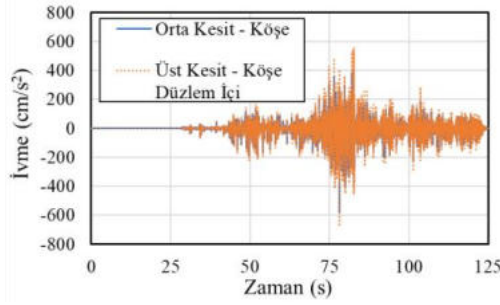
Şekil A.20. LSM3'ün 0.25×D1 altındaki sensör verileri.



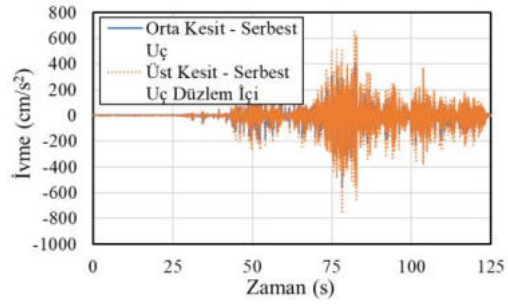
(a) Masa seviyesi ivme zaman serisi



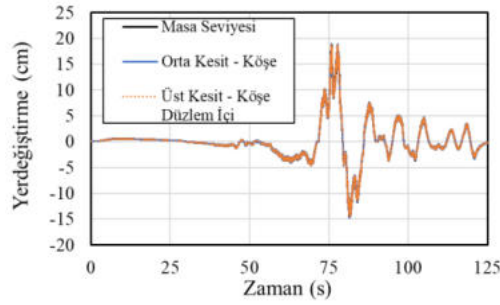
(b) Masa seviyesi yerdeğiştirme zaman serisi



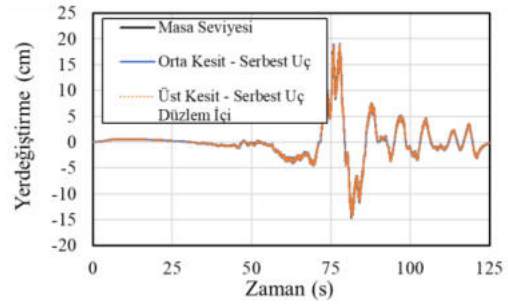
(c) Yükseklik boyunca ivme profili
(köşe)



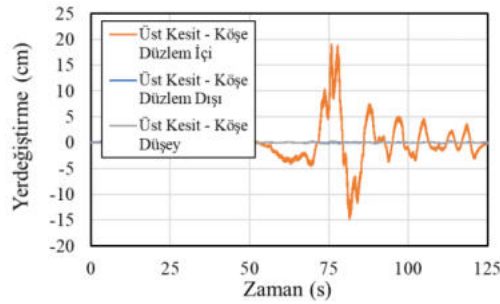
(d) Yükseklik boyunca ivme profili
(serbest uç)



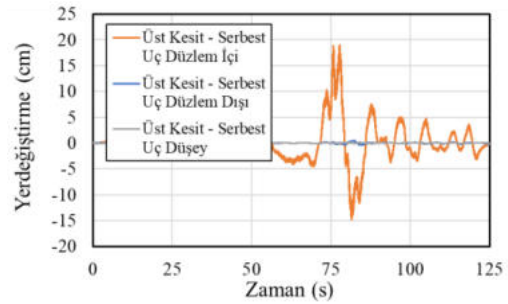
(e) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(köşe)



(f) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(serbest uç)

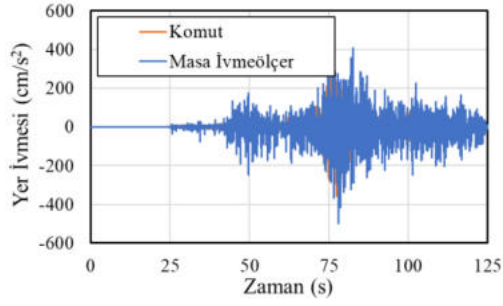


(g) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(köşe)

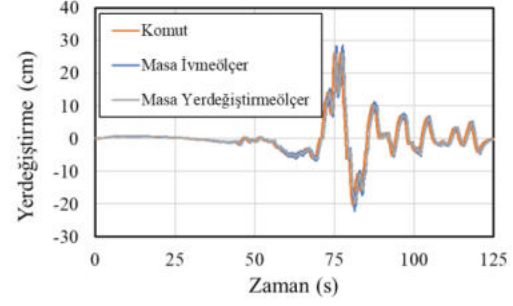


(h) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(serbest uç)

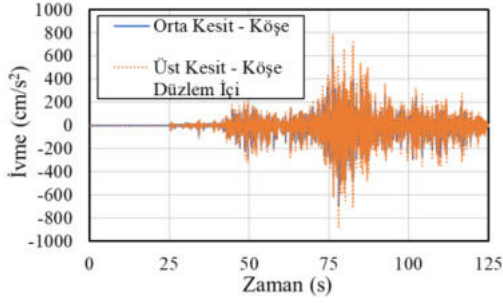
Şekil A.21. LSM3'ün 0.50×D1 altındaki sensör verileri.



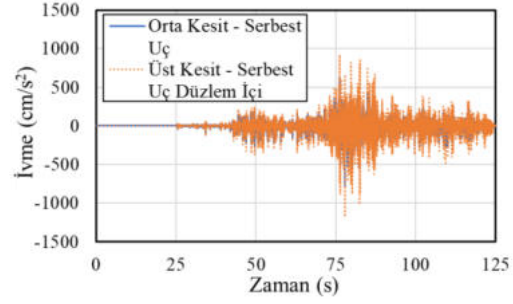
(a) Masa seviyesi ivme zaman serisi



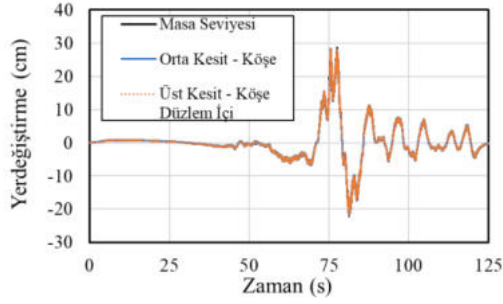
(b) Masa seviyesi yerdeğiştirme zaman serisi



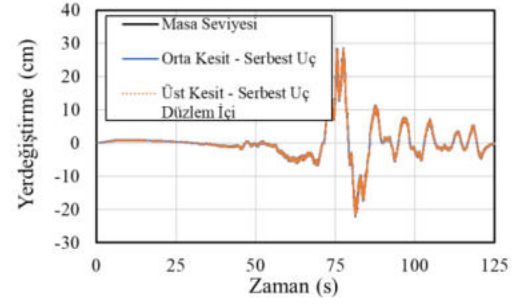
(c) Yükseklik boyunca ivme profili
(köşe)



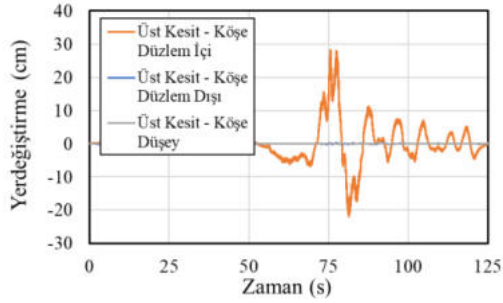
(d) Yükseklik boyunca ivme profili
(serbest uç)



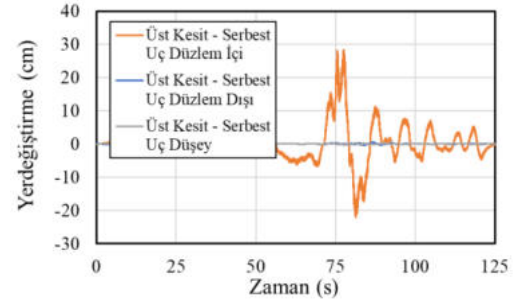
(e) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(köşe)



(f) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(serbest uç)

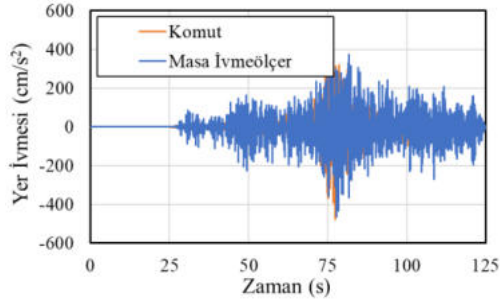


(g) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(köşe)

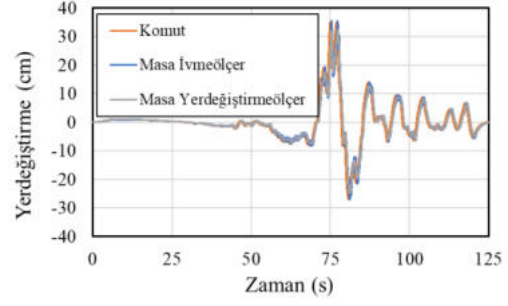


(h) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(serbest uç)

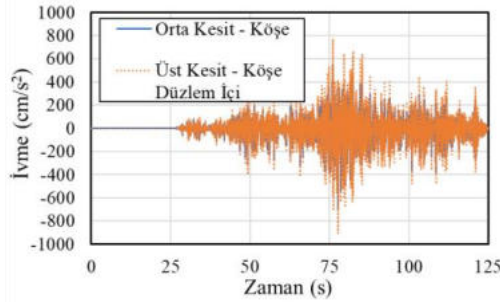
Şekil A.22. LSM3'ün 0.75×D1 altındaki sensör verileri.



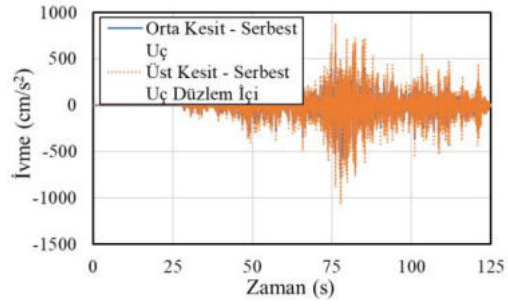
(a) Masa seviyesi ivme zaman serisi



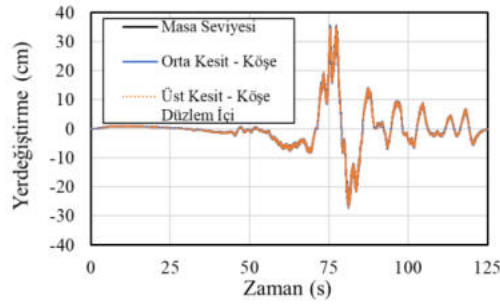
(b) Masa seviyesi yerdeğiştirme zaman serisi



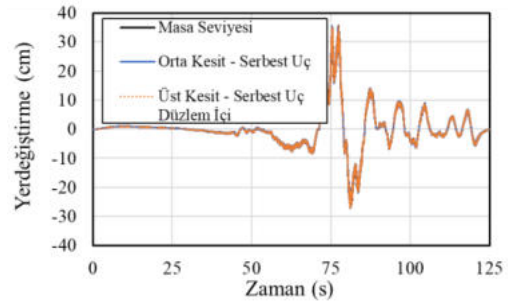
(c) Yükseklik boyunca ivme profili
(köşe)



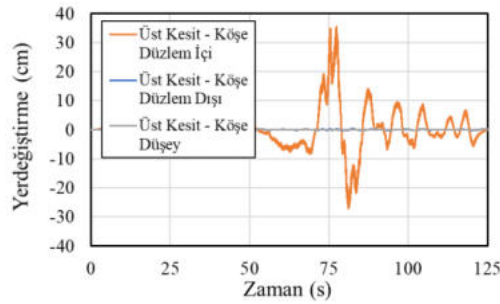
(d) Yükseklik boyunca ivme profili
(serbest uç)



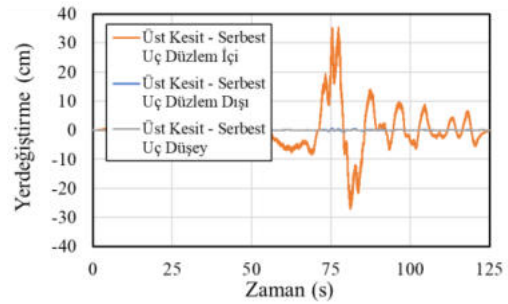
(e) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(köşe)



(f) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(serbest uç)

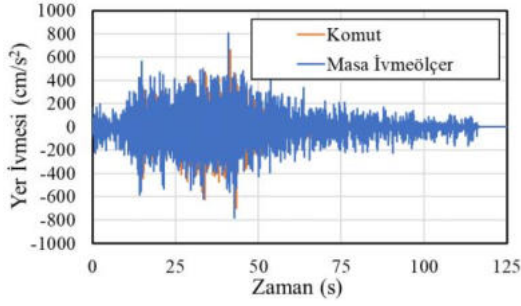


(g) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(köşe)

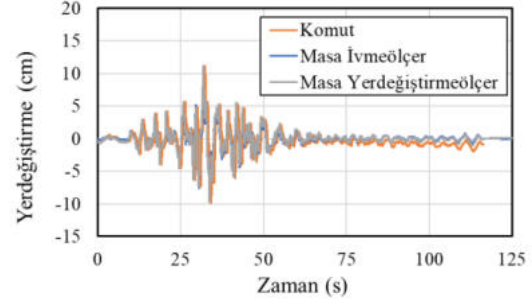


(h) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(serbest uç)

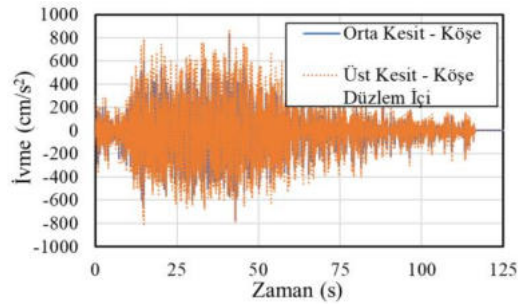
Şekil A.23. LSM3'ün 1.00×D1 altındaki sensör verileri.



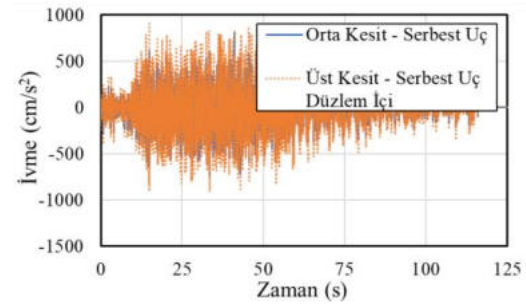
(a) Masa seviyesi ivme zaman serisi



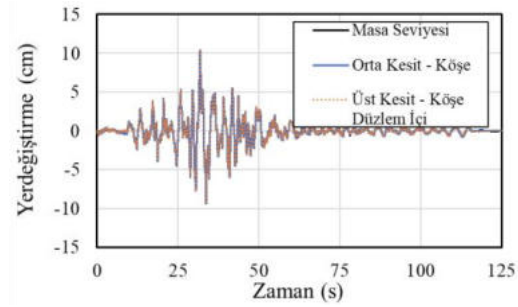
(b) Masa seviyesi yerdeğiştirme zaman serisi



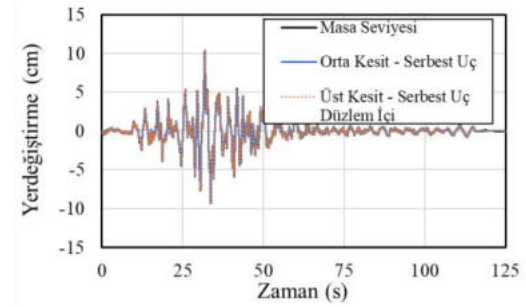
(c) Yükseklik boyunca ivme profili
(köşe)



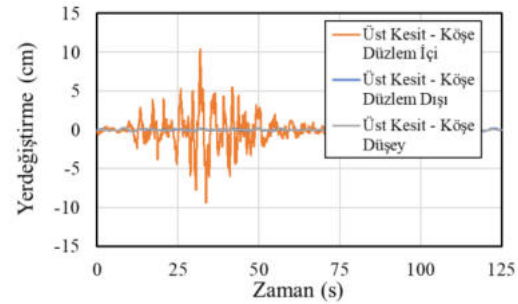
(d) Yükseklik boyunca ivme profili
(serbest uç)



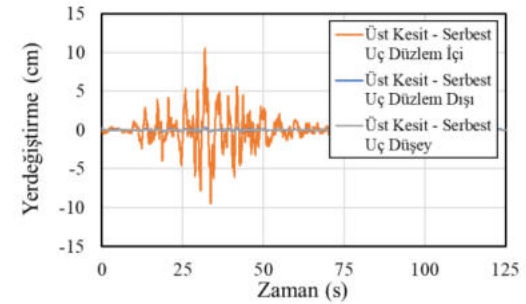
(e) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(köşe)



(f) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(serbest uç)

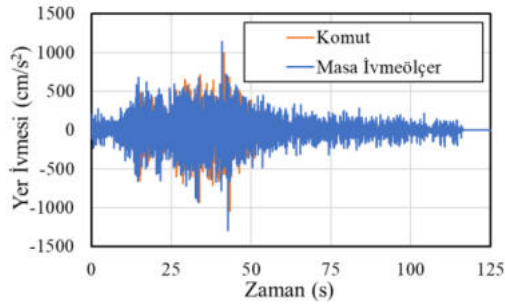


(g) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(köşe)

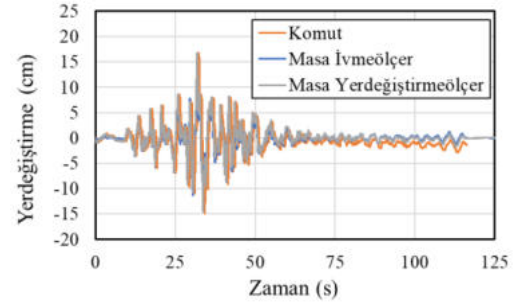


(h) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(serbest uç)

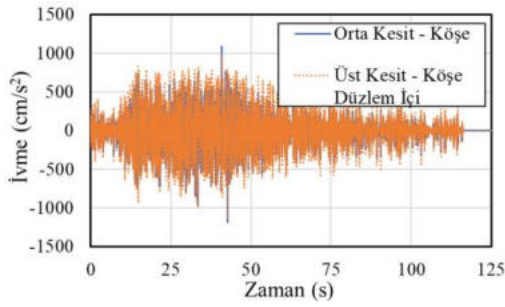
Şekil A.25. LSM3'ün 1.00×D2 altındaki sensör verileri.



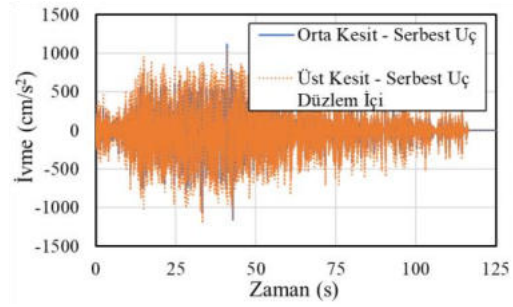
(a) Masa seviyesi ivme zaman serisi



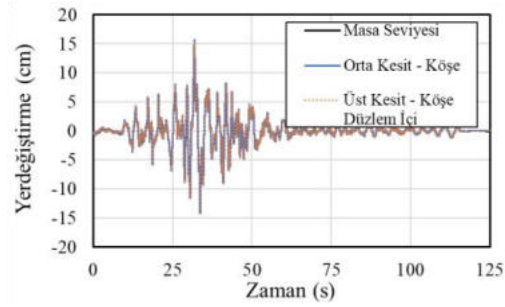
(b) Masa seviyesi yerdeğiştirme zaman serisi



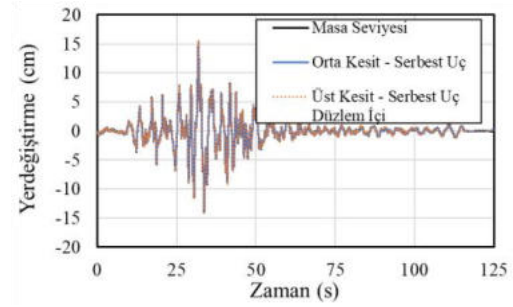
(c) Yükseklik boyunca ivme profili
(köşe)



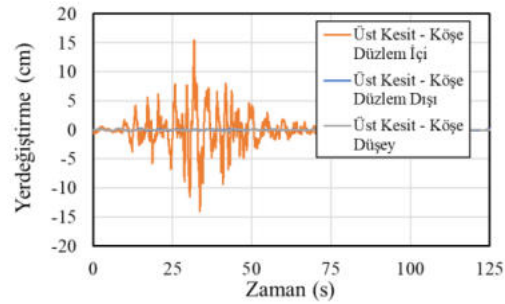
(d) Yükseklik boyunca ivme profili
(serbest uç)



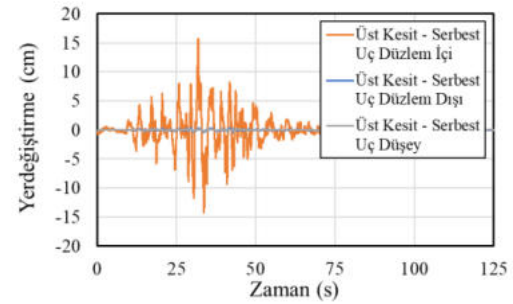
(e) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(köşe)



(f) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(serbest uç)

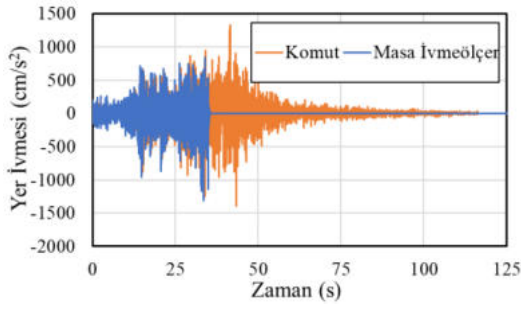


(g) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(köşe)

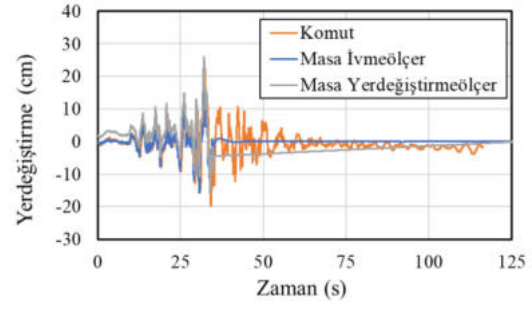


(h) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(serbest uç)

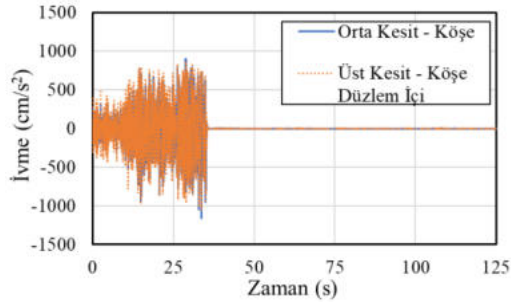
Şekil A.26. LSM3'ün 1.50×D2 altındaki sensör verileri.



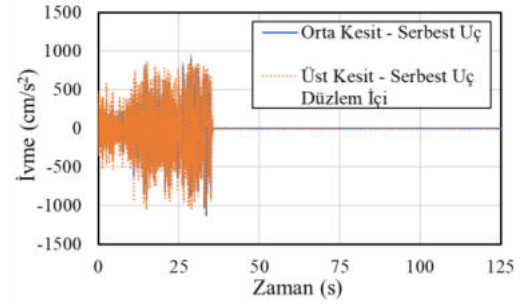
(a) Masa seviyesi ivme zaman serisi



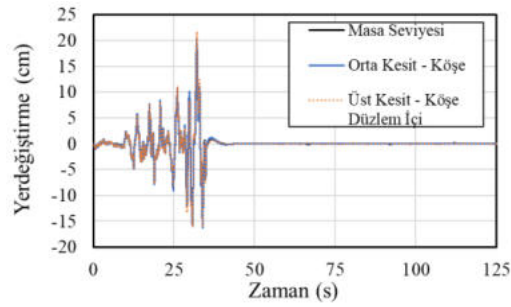
(b) Masa seviyesi yerdeğiştirme zaman serisi



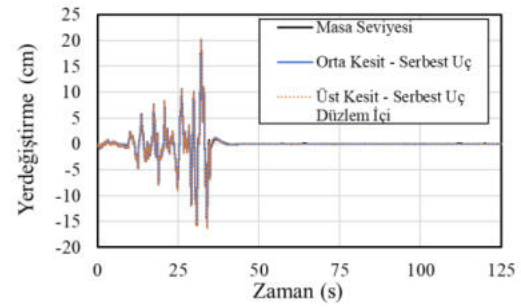
(c) Yükseklik boyunca ivme profili
(köşe)



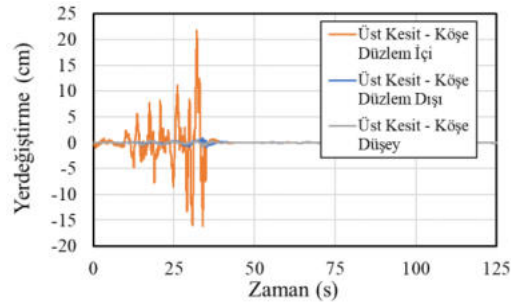
(d) Yükseklik boyunca ivme profili
(serbest uç)



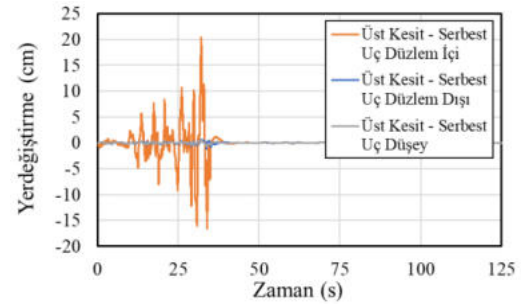
(e) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(köşe)



(f) Yükseklik boyunca yerdeğiştirme profili
(serbest uç)



(g) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(köşe)



(h) Üst kesitte üç doğrultudaki hareket
(serbest uç)

Şekil A.27. LSM3'ün 2.00×D2 altındaki sensör verileri.