



T.C.
HATAY MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI VERİ GÜNCELLEME FREKANSINA SAHİP GPS HIZ
SENSÖRLERİNİN PERFORMANSININ BELİRLENMESİ**

MUSTAFA AKKAMIŞ

BIYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
EKİM-2018



T.C.
HATAY MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI VERİ GÜNCELLEME FREKANSINA SAHİP GPS HIZ
SENSÖRLERİNİN PERFORMANSININ BELİRLENMESİ**

MUSTAFA AKKAMIŞ

BIYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATAY
EKİM-2018

T.C.
HATAY MUSTAFA KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI VERİ GÜNCELLEME FREKANSINA SAHİP GPS HIZ
SENSÖRLERİNİN PERFORMANSININ BELİRLENMESİ**

MUSTAFA AKKAMIŞ

BİYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Doç. Dr. Muharrem KESKİN danışmanlığında hazırlanan bu tez 03/10/2018 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **OYBİRLİĞİ** ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Muharrem KESKİN
Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Alper SOYSAL
Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ömer EREN
Üye

Kod No:

Prof. Dr. Erdal SERTKAYA
Enstitü Müdürü

Bu çalışma MKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir.

Proje No: 15180

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

03.10.2018

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını ve tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu beyan ederim.

Mustafa AKKAMIŞ

ÖZET

FARKLI VERİ GÜNCELLEME FREKANSINA SAHİP GPS HIZ SENSÖRLERİNİN PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

GPS esaslı hız sensörlerinin kullanımı son yıllarda önemli düzeyde artış göstermektedir. Ancak bu sensörlerin özellikle değişken hızlarda doğruluk değeri konusunda yeterli bilgi bulunmamaktadır. Bu çalışma; ticari olarak satılan farklı veri güncelleme frekansına sahip (1 Hz, 5 Hz, 7 Hz) düşük maliyetli üç adet GPS hız sensörünün sabit ve değişken hızlarda doğruluğunun araştırılması için yapılmıştır.

Çalışmada traktör üzerine yerleştirilen ek tekerlek üzerinde bulunan bir optik esaslı mil devir sensörü ile referans hız verisi sağlanmıştır. Mil devir ölçer ve üç adet GPS'ten gelen verileri okumak ve kaydetmek için Arduino Uno veri toplama kartı ve Arduino IDE ortamında bir yazılım geliştirilmiştir. Hız denemeleri 3 farklı gün, 3 farklı zaman, 4 hız kademesinde 4 tekrarlı olmak üzere toplam 144 kez yapılmıştır. Her bir denemede önce artan hız, sonra sabit hız ve azalan hız durumunda sensörlerden gelen hız verileri bilgisayara kaydedilmiştir.

Artan hız (pozitif ivme) durumunda, GPS hız sensörleri verilerin iletimindeki gecikme (latency) sebebiyle referans hıza göre daha düşük değerler verirken, sabit hızda hız değerleri birbirine yakın olup, azalan hız (negatif ivme) durumunda GPS hız sensörlerinin referans hızdan daha yüksek değerler verdiği görülmüştür. Artan hız ve azalan hız durumunda hız farkı ile ivme arasında önemli düzeyde bir korelasyon olduğu görülmüştür ($R^2 > 0.70$). Büyük ivme değeri hızın ani değiştiğini göstermektedir ki bu durumda GPS hız sensörlerinden verilerin iletimindeki gecikme sebebiyle hız farkı da fazla olmaktadır. 7 Hz frekansa sahip GPS hız sensörünün hız farkının 1 Hz ve 5 Hz frekansa sahip GPS sensörlerinin hız farkı değerinden daha düşük olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, bu çalışma veri güncelleme frekansının GPS hız sensörleri ile hız ölçümünde önemli bir parametre olduğunu göstermiştir. Hem artan, hem sabit, hem de azalan hız durumunda, 1 Hz, 5 Hz ve 7 Hz frekansa sahip GPS hız hata değerleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu ($p < 0.05$) tespit edilmiştir. En yüksek ortalama oransal hata değerlerinin, ivmeye bağlı olarak (en yüksek 1.15 m/s^2) GPS1 için %46, GPS5 için %16 ve GPS7 için %12 seviyelerine kadar çıktığı bulunmuştur. Sabit hızda en yüksek oransal hız farkının GPS1 için -%2.3, GPS5 için -%1.8 ve GPS7 için -%1.4 seviyelerinde olduğu görülmüştür. Yüksek güncelleme frekansına sahip GPS hız sensörleri, artan hız, sabit hız ve azalan hız durumunda hız değerini daha doğru bir şekilde ölçmektedir. Bu sebeple özellikle hızın anlık olarak değiştiği durumlarda hız ölçümü için yüksek güncelleme frekansına sahip GPS hız sensörlerinin kullanımı önerilmektedir.

2018, 63 sayfa

Anahtar Kelimeler: GPS, veri güncelleme frekansı, hız, ölçüm, hata

ABSTRACT

DETERMINATION OF THE PERFORMANCE OF GPS SPEED SENSORS WITH DIFFERENT DATA UPDATE FREQUENCIES

The use of GPS-based speed sensors has increased significantly in recent years. However, there is not enough information about the accuracy of these sensors, especially at variable speeds. This study was carried out to test three commercially available low-cost GPS speed sensors with different data update frequency (1 Hz, 5 Hz, 7 Hz) under constant and variable speed conditions.

In the study, reference speed data was provided by an optical shaft encoder located on the auxiliary wheel placed on a farm tractor. The Arduino Uno data acquisition card and the program written on Arduino IDE have been developed to read and record data from the shaft encoder and the three GPS speed sensors. The speed trials were performed 144 times in 3 different days, 3 different times, 4 speed levels and 4 repetitions. In each test, the velocity data from the four sensors were recorded with increasing speed, then with constant and decreasing speeds on a computer.

In the case of increasing speed (positive acceleration), the GPS speed sensors gave lower values than the reference speed due to the latency of the data, while the speed values at the constant speed are close to each other and in the decreasing speed (negative acceleration), the GPS speed sensors gave higher values than the reference speed. A significant correlation was found between speed difference and acceleration in both increasing speeds and decreasing speeds ($R^2 > 0.70$). The large acceleration indicates a sudden change in speed, therefore, a bigger differences in speed. The speed difference of GPS speed sensors with frequency of 7 Hz was found to be lower than the GPS sensors with 1 Hz and 5 Hz frequency.

As a result, this study showed that the data update frequency is an important parameter for speed measurement with GPS speed sensors. In the case of increasing, constant and decreasing speeds, the difference between the GPS speed error values of 1 Hz, 5 Hz and 7 Hz was statistically significant ($p < 0.05$). Depending on the maximum acceleration level (up to 1.15 m/s^2), average GPS speed error was found to be up to %46 for GPS1, up to %16 for GPS5 and up to %12 for GPS7. It was found that the maximum speed difference at constant speed was -%2.3 for GPS1, -%1.8 for GPS5 and -%1.4 for GPS7. GPS speed sensors with high update frequency can measure the speed more accurately in the case of increasing, constant and decreasing speed conditions. Thus, it is suggested to use GPS speed sensors with high update frequency for speed measurement, especially when the speed changes momentarily.

2018, 63 pages

Key Words: GPS, data update frequency, speed, measurement, error

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez konusunun belirlenmesinde, araştırılması ve yazımı sırasında sahip olduğu bilgi birikimi ve tecrübesi ile çalışmayı yönlendiren ve her türlü yardımı esirgemeyen saygıdeğer danışman hocam Doç. Dr. Muharrem KESKİN'E sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım sırasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem Aysun AKKAMIŞ'a, her koşulda beni destekleyen ve yardımını esirgemeyen Araş. Gör. Yunus Emre ŞEKERLİ ve Araş. Gör. Mustafa ÖZBULDU'ya, değerli okul arkadaşlarım Gıda Müh. Neslihan ÖZBULDU ve Ziraat Yük. Müh. Aysel ARSLAN'a teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sırasında tüm bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan HMKÜ Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na, maddi destek veren HMKÜ Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Komisyonuna ve isimlerini burada zikredemediğim ama yardımlarını esirgememiş herkese içten teşekkürlerimi sunarım. Tezin değerlendirilmesinde ve geliştirilmesinde önemli katkıları olan jüri üyeleri Dr. Öğr. Üyesi Alper SOYSAL ve Dr. Öğr. Üyesi Ömer EREN'e de teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	VII
1. GİRİŞ	1
1.1. Hassas Tarım Teknolojileri	1
1.2. Konum Belirleme Sistemleri	2
1.3. Uydu Esaslı Konum Belirleme Sistemleri	3
1.4. Uydu Esaslı Konum Belirleme Sistemlerinde Hata Azaltma Yöntemleri	4
1.5. Konum Belirleme Sistemlerinin Tarımda Kullanım Alanları	5
1.6. Tarım Makinelerinde Hız Ölçüm Yöntemleri	6
1.7. GNNS / GPS Alıcılarının Hız Hesaplama Yöntemleri	9
1.8. Çalışmanın Amacı	11
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	12
3. MATERYAL VE YÖNTEM	20
3.1. Materyal	20
3.1.1. GPS hız sensörleri	20
3.1.2. Traktör ek teker hız ölçüm sistemi	20
3.1.3. Veri toplama (DAQ) ve kayıt sistemi	20
3.1.4. Tarım traktörü	21
3.1.5. Yazılım	23
3.2. Yöntem	29
3.2.1. Traktör hız ölçüm sisteminin kalibrasyonu	29
3.2.2. Hız ölçüm denemeleri	31
3.2.3. Veri analizi	32
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	33
4.1. Sabit Hız Durumunda Hız Farkı Değerleri	35
4.2. Artan Hız Durumunda Hız Farkı Değerleri	37
4.3. Azalan Hız Durumunda Hız Farkı Değerleri	40
4.4. İstatistiksel Analiz	46
5. SONUÇLAR	48
KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ	52

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Hassas Tarım Teknolojileri sınıflandırılması	2
Şekil 1.2. Monitorlü bir GPS hız sensörü	9
Şekil 3.1. Çalışmada kullanılan donanımın bağlantı şeması	22
Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan donanım	22
Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan donanımının traktör üzerinde yerleşimi	23
Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan bilgisayar programının akış diyagramı	25
Şekil 3.5. Teorik ve enkoder hızlarının değişimi ve regresyon eşitliği	30
Şekil 4.1. Düşük hız kademesinde üç farklı GPS hız sensöründen ölçülen hızların referans hıza göre değişimi.....	33
Şekil 4.2. Yüksek hız kademesinde üç farklı GPS hız sensöründen ölçülen hızların referans hıza göre değişimi.....	34
Şekil 4.3. Ortalama ivme ve ortalama hız farkı (hata) değerinin hesaplanması	35
Şekil 4.4. Sabit hızda üç farklı GPS hız sensörünün farklı hız kademelerinde ortalama hız farkı değerleri.....	36
Şekil 4.5. Sabit hızda üç farklı GPS hız sensörünün ortalama hız farkı ile ortalama referans hız arasındaki ilişki	37
Şekil 4.6. Artan hızda üç farklı GPS hız sensörünün ortalama hız farkı ile ortalama referans hız arasındaki ilişki	38
Şekil 4.7. Artan hızda üç farklı GPS hız sensörünün ortalama hız farkı ile ortalama ivme arasındaki ilişki	39
Şekil 4.8. Artan hızda üç farklı GPS hız sensörünün ortalama hız farkı ile hız kademesi arasındaki ilişki	39
Şekil 4.9. Azalan hızda üç farklı GPS hız sensörünün ortalama hız farkı ile ortalama referans hız arasındaki ilişki	41
Şekil 4.10. Azalan hızda üç farklı GPS hız sensörünün ortalama hız farkı ile ortalama ivme arasındaki ilişki	41
Şekil 4.11. Azalan hızda üç farklı GPS hız sensörünün ortalama hız farkı ile hız kademesi arasındaki ilişki	42

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Farklı ülkelere ait Uydu Esaslı Konum Belirleme Sistemleri	3
Çizelge 1.2. Farklı ülkelere ait Uydu Esaslı Hata Düzeltme Sistemleri	5
Çizelge 1.3. Farklı hız ölçüm yöntemlerinin karşılaştırılması.....	8
Çizelge 3.1. Optik döner mil enkoderi, GPS hız sensörleri ve veri alma kartının bazı teknik özellikleri	21
Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan Arduino IDE bilgisayar programının kodu	26
Çizelge 3.3. Deneme zamanında GPS sinyali durumuna ilişkin bazı veriler	28
Çizelge 3.4. Kalibrasyon işleminde elde edilen gerçek hız ve enkoder hızı değerleri	30
Çizelge 3.5. Hız ölçüm denemelerine ilişkin bilgiler	32
Çizelge 4.1. Üç farklı GPS hız sensörünün ortalama hız ölçümü hata değerleri.....	44
Çizelge 4.2. Üç farklı GPS hız sensörünün istatistiksel karşılaştırması	47

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

CORS:	Sürekli Çalışan Referans İstasyonları (Continuously Operating Reference Stations)
DAQ:	Veri Toplama Kartı (Data Acquisition Card)
DOP:	Uydu Geometri Hatası (Dilution of Precision)
EGNOS:	Avrupa Sabit Konum Belirleme Paylaşım Hizmeti (European Geostationary Navigation Overlay Service)
GLONASS:	Küresel Konum ve Yön Belirleme Sistemi (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema)
GNSS:	Uydu Esaslı Konum ve Yön Belirleme Sistemi (Global Navigation Satellite System)
GPS:	Küresel Konum Belirleme Sistemi (Global Positioning System)
HTT:	Hassas Tarım Teknolojileri
RTK:	Gerçek Zamanlı Kinematik (Real Time Kinematic)
SBAS:	Uydu Esaslı Hata Düzeltme Yöntemi (Satellite Based Augmentation System)
WAAS:	Geniş Alan Hata Azaltma Sistemi (Wide Area Augmentation System)

1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmelerin çok hızlı bir şekilde yaşandığı günümüzde, tarım ve tarım makineleri de bu teknolojik gelişmelerden pay almaktadır. Son yıllarda, birim alandan daha yüksek verim, üretim masraflarının azaltılması, artan çevre bilinci, küresel ısınma, iklim değişikliği ve sürdürülebilirlik kavramı çerçevesinde toprak ve su gibi doğal kaynakların korunma gerekliliği yeni tarımsal üretim sistemlerini gerekli kılmaktadır. Bu sebeple, Sürdürülebilir Tarım, Alternatif Tarım, Organik Tarım, İyi Tarım Uygulamaları, Hassas Tarım Teknolojileri gibi farklı kavramlar ortaya çıkmıştır (Keskin ve Görücü Keskin, 2012).

1.1. Hassas Tarım Teknolojileri

Hassas Tarım Teknolojileri (HTT); bilgi ve teknolojiyi tarımsal üretime dâhil ederek tarımsal işletmeciliği tamamıyla değiştirebilecek yeni ve gelişme aşamasında olan teknolojilerdir. HTT, uydu teknolojileri, elektronik ölçüm ve kontrol sistemleri, algılama (sensör) sistemleri, internet ve bilgisayar yazılımları gibi yüksek teknolojilerin kullanımı ile tarımsal uygulamaları geliştirerek, özellikle kimyasal girdilerin tarım arazilerinde sadece gereksinim duyulduğu yerlere ve gereksinim duyulduğu miktarlarda uygulanması ve ayrıca yapılan işlemlerin daha hassas bir şekilde yapılması yolu ile kârlılık ve tarımsal etkinliğin artırılmasını ve aynı zamanda çevreyi ve doğal kaynakları korumayı amaçlamaktadır (Morgan ve Ess, 2003; Keskin ve Görücü Keskin, 2012).

HTT kullanım düzeyi, başta Amerika Birleşik Devletleri (ABD) olmak üzere gelişmiş ülkelerde çok hızlı bir şekilde artmaktadır (Keskin, 2013; Say ve ark., 2017). HTT; Veri toplama, Veri işleme / karar verme ve Uygulama teknolojileri olmak üzere üçe ayrılmaktadır (Keskin ve ark., 2017a) (Şekil 1.1.).



Şekil 1.1. Hassas Tarım Teknolojileri sınıflandırılması (Keskin ve ark., 2017a)

1.2. Konum Belirleme Sistemleri

Hassas Tarım Teknolojileri (HTT) kapsamındaki en önemli teknolojilerden biri olan Konum Belirleme Sistemleri temel olarak tarım arazisindeki farklı noktaların coğrafi konumunu (enlem, boylam, yükselti) belirlemek amacıyla kullanılmaktadır.

Konum Belirleme Sistemleri bulunduğu yere göre Yer Esaslı ve Uydu Esaslı olmak üzere ikiye ayrılabilir (Keskin ve Görücü Keskin, 2012).

Yer Esaslı Konum Belirleme Sistemleri (Land-based Positioning System) ikinci dünya savaşı zamanlarında geliştirilmiş ve bir kısmı halen kullanımda olan belli aralıklarla yer yüzeyine yerleştirilmiş sinyal verici istasyonlardan oluşmaktadır. Bu sisteme örnek olarak LORAN sistemi verilebilir (Keskin ve Görücü Keskin, 2012). Uydu esaslı sistemler geliştirildikten sonra yer esaslı sistemlerin kullanımı azalmış ancak uydu esaslı sistemlere yapılan kötü amaçlı müdahaleler (jamming, spoofing, v.b.) nedeniyle yer esaslı sistemlerin korunması gerektiği fikri ortaya çıkmıştır.

Uydu Esaslı Konum Belirleme Sistemleri (Satellite-based Positioning System) (Global Navigation Satellite Systems, GNSS) uzayda dünya etrafında belli yörüngelerde sürekli hareket eden ve sürekli olarak dünyaya sinyal gönderen uydulardan oluşmaktadır (Keskin ve Görücü Keskin, 2012). Uydu Esaslı Konum Belirleme Sistemleri uydulardan meydana gelen “uydu birimi”, uyduların hareketini izleyen ve gerektiğinde düzenleme yapan “izleme ve kontrol birimi” ve uydulardan gelen sinyalleri alarak konum, yön, hız, zaman, v.b. verileri belirleyen “alıcılar”dan oluşur (Keskin ve Görücü Keskin, 2012).

1.3. Uydu Esaslı Konum Belirleme Sistemleri

Farklı ülkeler kendilerine ait Uydu Esaslı Konum Belirleme Sistemleri geliştirmiştir (Çizelge 1.1). 2018 yılı itibariyle, tam anlamıyla çalışan iki sistem mevcut olup bunlar ABD'nin GPS sistemi ve Rusya'nın GLONASS sistemidir. Avrupa Birliği Galileo isminde, Çin ise Compass (Beidou) isminde kendilerine ait sistemleri geliştirmekte olup yakın zamanda bu sistemler de kullanıma girecektir. Çizelge 1.1'de bazı özellikleri verilen bu dört sistemi kullanan alıcılar uydudan gelen sinyallerin alınabildiği dünyanın her yerinde (küresel, global), günün her saatinde, her hava koşulunda konum belirleme özelliğine sahiptir. Ancak uydulardan sinyal alınamadığı, bina içi, orman, tünel, derin vadi, v.b. yerlerde konum belirleme işlemi yapılamamaktadır. Ayrıca sadece belli bir ülkeyi veya bölgeyi kapsayan yerel (local, regional) Uydu Esaslı Konum Belirleme Sistemleri de geliştirilmektedir. Örneğin Japonya (QZSS) ve Hindistan (IRNSS) bu tip sistemler üzerinde çalışmalar yapmaktadır.

Çizelge 1.1. Farklı ülkelere ait Uydu Esaslı Konum Belirleme Sistemleri (Jeffrey, 2010)

	GPS (ABD)	GLONASS (Rusya)	GALILEO (AB)	COMPASS (Çin)
Uydu sayısı	21+3	21+3	27+3	30+5
Yörünge sayısı	6	3	3	6
Yörünge açısı	55°	64.8°	56°	55°
Yörünge yarıçapı	26 560 km	25 510 km	23 616 km	27 528 km
Dolanma süresi	≈ 12 h			

Farklı ülkeler farklı isimde sistemlere sahip olmasına rağmen kısaca GPS olarak bilinen bu teknoloji son yıllarda artan düzeyde günlük hayatta bile coğrafi konum belirleme (enlem, boylam, yükselti) (positioning) ve özellikle yön ve güzergah bulma (navigasyon) amaçlı kullanılmaktadır. Bununla beraber birçok sektörde hassas zamanlama (timing) ve hız ölçümü amacıyla da kullanılmaktadır. Artık GPS alıcıları ve

navigasyon sistemi ile bütünleşik olan kol saati, cep telefonu ve otomobiller oldukça yaygınlaşmıştır (Keskin ve Görücü Keskin, 2012).

1.4. Uydu Esaslı Konum Belirleme Sistemlerinde Hata Azaltma Yöntemleri

Konum belirleme işleminde farklı kaynaklar (uydu saati hatası, yörünge hatası, iyonosfer ve troposferde meydana gelen sinyal gecikmesinden kaynaklı hata, alıcıdan kaynaklanan hata, sinyal yansıma hatası, v.b.) sebebiyle hatalar meydana gelmektedir (Cosentino ve ark., 2006; Jeffrey, 2010). Uydular tarafından gönderilen sinyallerden hesaplanan konum bilgisi ile gerçek konum arasındaki fark hata değerini vermektedir. Bu hata değeri değişik yollarla alıcılara ulaştırıldığında, alıcı bu hata değerini ölçüm değerinden çıkartarak hata düzeltmesi yapabilir. Bu işleme hata düzeltme (differential error correction), hata azaltma veya veri iyileştirme (augmentation) denir. Hata düzeltme bilgileri farklı yöntemlerle alıcılara iletilmektedir. Bunlar; Yer esaslı ve Uydu esaslı hata düzeltme yöntemleri olmak üzere iki şekilde gruplandırılır (Keskin ve Görücü Keskin, 2012).

Yer esaslı hata azaltma yönteminde (Ground-based differential correction system), yeryüzünde sabit halde bulunan ve konumu tam olarak bilinen alıcılar kendi konumu ile anlık belirlenen konum verisi arasındaki farkı hesaplayarak etrafına yayar. Bu sinyali alma özelliğine sahip alıcılar, hesapladığı konum değerinden hatayı çıkararak ölçüm doğruluğunu artırır. Yer esaslı yöntemler; Yerel AM (Amplitude Modulation) istasyonları, Yerel FM (Frequency Modulation) istasyonları, Gerçek zamanlı kinematik (Real Time Kinematic, RTK), Sürekli çalışan referans istasyonları (Continuously Operating Reference Stations, CORS) olmak üzere dört gruba ayrılır (Keskin ve Görücü Keskin, 2012). Yerel AM ve FM istasyonları hata düzeltme bilgisini AM veya FM sinyali şeklinde etrafına yayar. Gerçek zamanlı kinematik (RTK) yöntemde, kişi veya firma sabit duran ek bir alıcı-vericiyi uygun bir yere konumlayarak buradan hata düzeltme verisinin etrafa gönderilmesini sağlar. Sürekli çalışan referans istasyonları (CORS) yönteminde ise bir bölgede veya bir ülke genelinde belli aralıklarla genellikle yüksek bina çatılarına yerleştirilen alıcı istasyonlarla düzeltme verisi belirlenir ve merkezi bir istasyona iletilir, daha sonra hata düzeltme verisi internet veya cep telefonu

hattı üzerinden abone olan kullanıcılara iletilir. Türkiye TUSAGA-AKTİF ismiyle ülke genelinde çalışan bir CORS sistemine sahiptir.

Uydu esaslı hata azaltma yönteminde (Satellite-based Augmentation System, SBAS) ise, hata değeri yeryüzünde bulunan hata belirleme istasyonlarından, uzayda konumu değişmeyen sabit konumlu uydulara (Geostationary satellite) gönderilir (Keskin ve Görücü Keskin, 2012). Bu uydular da aldığı düzeltme sinyalinin tekrar yeryüzünde bulunan alıcılara ulaştırır. Bu sistemler genellikle ücretsiz hizmet sunarlar. Farklı ülkelere sahip Uydu esaslı hata azaltma sistemleri Çizelge 1.2.'de verilmiştir. Ayrıca özel firmalar tarafından ve genellikle abonelik gerektiren ücretli ve ticari hata azaltma sistemleri de mevcuttur. Örnek olarak OmniSTAR firması tarafından işletilen OmniSTAR ve John Deere firması tarafından işletilen StarFire sistemleri verilebilir.

Çizelge 1.2. Farklı ülkelere ait Uydu Esaslı Hata Düzeltme Sistemleri (Keskin, 2018)

Ülke	Sistemin Adı
ABD	WAAS (Wide Area Augmentation System)
Rusya	SDCM (System for Differential Correction and Monitoring)
Avrupa Birliği	EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service)
Çin	SNAS (Satellite Navigation Augmentation System)
Japonya	MSAS (Multi-functional Satellite Augmentation System)
Hindistan	GAGAN (GPS Aided Geo Augmented Navigation)

1.5. Konum Belirleme Sistemlerinin Tarımda Kullanım Alanları

Uydu Esaslı Konum Belirleme Sistemlerinin en önemlisi olan ve ABD hükümeti tarafından işletilen Küresel Konum Belirleme Sistemi (Global Positioning System, GPS)'ne kasıtlı olarak eklenen hatanın (Selective Availability) 2000 yılı Mayıs ayında kaldırılması sistemin doğruluğunu olumlu etkilemiş ve doğruluk değerini hata düzeltme sinyali olmadan birkaç metre seviyesine indirmiş, bu gelişme özellikle verim haritalama gibi bazı uygulamalarda düşük maliyetli alıcıların kullanımına olanak sağlamıştır (Shannon ve ark. 2001; Shannon ve ark. 2002; Keskin ve ark. 2009). Ayrıca GNSS sistemlerindeki gelişmeler ile tarım traktörü, biçerdöver, pamuk hasat makinesi gibi

kendi yürür tarım makinelerinin otomatik dümenlenmesi konusunda da önemli gelişmeler kaydedilmiştir.

Uydu Esaslı Konum Belirleme Sistemleri (GNSS) Hassas tarım teknolojileri kapsamında tarımda aşağıda verilen alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Keskin ve Görücü Keskin, 2012):

- arazinin sınır haritasının çıkarılması
- arazinin topoğrafik haritasının çıkarılması
- toprak özelliklerinin (pH, EC, bünye, OM, tuz, KDK, besin maddeleri, v.b.) haritalanması
- traktörlerin otomatik dümenlenmesi
- hasat sırasında verim haritasının çıkarılması
- traktör ve kendi yürür makinelerde hız ölçümü
- yabancı ot haritalarının çıkarılması
- harita esaslı değişken düzeyli gübreleme, herbisit ve pestisit uygulamaları

1.6. Tarım Makinelerinde Hız Ölçüm Yöntemleri

GPS alıcılarının önemli bir kullanım alanı da makinenin ilerleme hızının belirlenmesidir. Uydu esaslı konum belirleme sistemleri coğrafi konum bilgisi yanında yer hızı (makine ilerleme hızı) verisini de kullanıcıya sağlama özelliğine sahiptir. Tarım makinelerinde yer hızı verisine değişik amaçlarla gereksinim duyulmaktadır. Bunlar:

- 1) Hız sınırını kontrol etmek (iş güvenliği)
- 2) Traktörlerde güç hesabı ($Güç = Kuvvet * Hız$)
- 3) Tarım makinelerinde birim zamanda işlenen alanın hesaplanması (da/h)
- 4) Kayma, patinaj ve çeki etkinliğinin belirlenmesi
- 5) Hasat makinelerinde anlık verimin (kg/da) hesaplanması
- 6) Tarım arazilerinde kimyasal girdilerin değişken düzeyli uygulanması
- 7) Sürücü performansının (hız, iş verimliliği, v.b.) değerlendirilmesi.

Tarım makinelerinde yer hızının belirlenmesinde değişik yöntemler kullanılmaktadır ve bu konuda bazı araştırmalar yapılmıştır (Grevis-James ve Bloome,

1982; Richardson ve ark. 1982; Clark ve Adsit, 1985; Summers ve ark. 1986; Tompkins ve ark. 1988; Khalilian ve ark. 1989; Keskin ve Say, 2006; Doğan ve ark. 2010; Czajewski ve Iwanowski, 2010; Akita ve ark. 2015; Keskin ve ark., 2017b). Bu yöntemler aşağıda verilmiştir:

- 1) Mesafe ve zaman ölçümü esaslı yöntem (ortalama hız)
- 2) Mil devir algılayıcısı
 - 2a) Manyetik esaslı devir algılayıcı
 - 2b) Optik esaslı devir algılayıcı
- 3) Radar ve ultrasonik esaslı hız algılayıcı
- 4) Görüntü (kamera) işleme esaslı hız belirleme
- 5) Uydu esaslı konum belirleme sistemi (GNSS)

Yapılan araştırmalara göre; her bir hız ölçüm yönteminin bazı avantaj ve dezavantajları vardır (Çizelge 1.3). Örneğin radar ve ultrasonik sensörler toprak yüzeyinde bulunan uzun boylu bitkilerden, toz ve rüzgardan etkilenmekte ayrıca bu sensörlerden elde edilen sinyaller elektronik filtre devreleri gerektirmektedir (Richardson ve ark. 1982; Khalilian ve ark. 1989). Tekerlek devir sensörü ve manyetik mil sensörü de kayma ve patinajdan olumsuz etkilenir (Tompkins ve ark. 1988). Görüntü işleme esaslı yöntemde aydınlanma miktarındaki değişim ve kameranın tozlanması ölçümü olumsuz etkileyebilir. GNSS esaslı yöntem ise uydulardan gelen sinyallerin alınamaması veya kısmen alınabilmesi sebebiyle kapalı alanlarda (orman, bina yanı, tünel, v.b.) ölçüm yapamamaktadır.

Çizelge 1.3. Farklı hız ölçüm yöntemlerinin karşılaştırılması

Yöntem	Avantaj (A) ve Dezavantaj (D)
Mesafe ve zaman ölçümü	A: Kolay ve basit; D: Sadece ortalama hız hesaplamada kullanılır, anlık hız için uygun değildir.
Manyetik esaslı devir algılayıcı	A: Ekonomik; D: Tekerleğin kayma ve patinaj durumundan, lastiğin hava basıncı değişiminden olumsuz etkilenir.
Optik esaslı devir algılayıcı	A: Kısmen ekonomik; D: Tekerleğin kayma ve patinaj durumundan olumsuz etkilenir.
Radar ve ultrasonik esaslı	A: Tekerlek kayma ve patinajından etkilenmez; D: Pahalı ve karmaşıktır, zemindeki uzun bitkilerden, tozdan, rüzgardan, aracın üç ana eksenindeki hareketinden (pitch, yaw, roll) olumsuz etkilenebilir. Düşük hızda ve geri harekette doğru değeri göstermeyebilir. Ultrasonik sistemlerin hava sıcaklığı değişiminden etkilenmemesi için önlem alınmalıdır.
Görüntü (kamera) işleme esaslı	A: Kısmen ekonomik; D: Aydınlanmadaki değişim ve kameranın tozlanmasından etkilenebilir.
GNSS esaslı	A: Hareketli parçaya sahip değil, tozlu çalışma ortamından, toprak yüzeyinden, bitki örtüsünden, tekerlek kayma ve patinajından etkilenmez. İnsanın yürüyüş ve koşu hızı ölçümünde kullanılabilir; D: Hızlanma ve yavaşlama durumunda hata payı yüksek, kapalı alanlarda sinyal alımı mümkün değil.

Bu yöntemler içerisinde GNSS veya GPS teknolojisi son yıllarda büyük gelişme kaydetmektedir. GNSS alıcısı, dünya etrafında sürekli hareket halinde olan GNSS uydularından gelen sinyalleri kullanarak coğrafi konumu ve hızı hesaplamaktadır. GNSS esaslı yöntemin; hareketli bir parçaya sahip olmama, tarım arazilerinde önemli bir sorun olan tozlu çalışma ortamından etkilenmeme, tekerlek kayma ve patinaj durumundan etkilenmeme ve toprak yüzeyi ve bitki örtüsünden etkilenmeme gibi üstünlükleri vardır. Dezavantajı ise kapalı veya yarı kapalı alanlarda (ağaç altı, yüksek bina gibi) uydulardan gelen sinyallere ulaşımın kısıtlanmasıdır. Ancak, kapalı veya yarı

kapalı alanlarda da çalışabilmesi için alınabilecek önlemler konusunda araştırma yapılmaktadır.

Son yıllarda sadece hız ölçümü amacıyla geliştirilmiş GPS hız sensörleri piyasaya sunulmuştur (Şekil 1.2). Bu sensörler bir anten, GPS modülü, mikroişlemci ve göstergeden oluşmaktadır. Bunlar uzun yıllar boyunca tarım makinelerinde kullanılan radar hız ölçüm sistemlerinin yerine kullanılmak üzere, hız verisini darbe sinyali şeklinde başka cihazlara da gönderebilmektedir. Ancak bunların katalog bilgileri incelendiğinde sadece tek bir doğruluk değeri (genellikle sabit hızda) verilmekte, özellikle değişken hızlarda doğruluk değeri konusunda yeterli bilgi bulunmamaktadır. Dünya çapında, bu alanda kısıtlı sayıda araştırma yapılmıştır.



Şekil 1.2. Monitorlü bir GPS hız sensörü (Anonim, 2018)

1.7. GNSS / GPS Alıcılarının Hız Hesaplama Yöntemleri

GNSS alıcıları hızı iki yöntemle hesaplamaktadır (Zhang ve ark, 2004; Chalko 2007; Gaglione 2015). Bu yöntemler aşağıda açıklanmıştır:

a) Birinci yöntemde GPS alıcıları hareketli durumda iken belli zaman diliminde ardışık noktalar arasındaki mesafe ve zaman verisinden hızı hesaplamaktadır (Chalko 2007). Yani birim mesafenin, bu mesafeyi almak için geçen süreye bölünmesi şeklinde hesaplama yapılır. Bu yöntemin çalışma ilkesi aşağıdaki eşitlikle belirtilebilir (Gaglione, 2015):

$$V_u = dR_u/dt = (V_{xu}, V_{yu}, V_{zu}) = (R_u(t_2) - R_u(t_1))/(t_2 - t_1) \quad (1.1)$$

Burada;

V_u = Kullanıcının (alıcının) hızı (m/s)

dR_u = Yer değişimi miktarı (m)

dt = Zaman değişimi miktarı (s)

b) İkinci yöntemde ise, Doppler frekans kayması (Uydu frekansı ile alıcıda belirlenen frekans arasındaki fark) yöntemiyle de hız belirlenebilmektedir. Bu özellik bazı GNSS alıcılarına mevcuttur. GPS alıcısı ve GPS uyduları arasındaki bağlı hareket uydudan gönderilen sinyalin frekansı ile alıcı tarafından alınan sinyalin frekansı arasında bir kaymaya sebep olur ki buna Doppler kayması (Doppler shift) adı verilir ve GPS alıcısı hızı bu değerden hesaplamaktadır (Zhang ve ark. 2004). Doppler kayması ile hızın belirlenmesi için konum belirlemede olduğu gibi en az dört farklı uydudan veri alınması gereklidir. Ancak belirlenen hız değerinin doğruluğu birçok faktör tarafından (iyonosfer ve troposfer kaynaklı sinyal gecikmesi, uydu saati ve alıcı saatindeki hata, çok doğrultulu sinyal alımı, uydu yörünge hatası, v.b.) etkilenmektedir (Zhang ve ark., 2004). Bu yöntemin çalışma ilkesi aşağıdaki eşitlikle belirtilebilir (Gaglione, 2015):

$$D = F_r - F_t = - F_t/c [(V - V_u) * (R - R_u)/||R - R_u||] \quad (1.2.)$$

Burada;

D = Doppler frekans kayması (Hz)

F_r = Alınan sinyalin frekansı (Hz)

F_t = Uydudan gönderilen sinyalin frekansı (Hz)

c = Işık hızı (GPS sinyalinin hızı) (m/s)

V = Uydunun hızı (m/s)

V_u = GPS kullanıcısının (alıcının) hızı (m/s)

R = Uydunun konumu (m)

R_u = GPS kullanıcısının (alıcının) konumu (m)

Doppler frekans kayması yönteminin birinci yöntemle kıyasla uyduya olan uzaklık, faz gecikmesi, v.b. hata faktörlerinden etkilenmediği bildirilmiştir (Chalko, 2007). Bu sebeple ikinci yöntemle yapılan hız ölçümü doğruluk değerinin birinci yöntemle kıyasla daha yüksektir (Chalko, 2007; Townshend ve ark. 2007). Doppler kayması ile ilgili bütün hatalar tamamen düzeltildiğinde GPS alıcıları ile cm/s hatta mm/s doğruluğu ile hız verisinin belirlenebileceği bildirilmiştir (Zhang ve ark., 2004).

1.8. Çalışmanın Amacı

Dünya çapında yapılan çalışmalar GPS alıcılarının sabit hızda doğru değeri gösterdiğini ancak değişken hızlarda sinyal gecikmesi sebebiyle doğru değeri göstermediğini ortaya koymaktadır (Keskin ve Say, 2006; Koç ve ark. 2006; Keskin ve ark. 2017b). Daha önce yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu genellikle 1 Hz veri güncelleme frekansına sahip el tipi GPS alıcılarını kapsamaktadır. Son yıllarda sadece hız ölçümü için geliştirilen, daha yüksek (>1 Hz) güncelleme frekansı (Hz) değerine sahip ve ticari olarak satılan GPS hız ölçüm sensörlerinin performansı konusunda dünyada çok az çalışma bulunmaktadır.

Bu sebeple bu çalışmanın amacı; piyasada ticari olarak satılan farklı veri güncelleme frekansına sahip düşük maliyetli (<300 USD) üç adet GPS hız sensörünün sabit ve değişken hızlarda çalışma performansının araştırılması ve karşılaştırılmasıdır. Çalışmada 1 Hz, 5 Hz ve 7 Hz güncelleme frekansına sahip üç adet GPS hız sensörü karşılaştırılmıştır.

GPS esaslı hız sensörlerinin kullanımı son yıllarda önemli düzeyde artış göstermektedir. Traktörlerde radar esaslı hız ölçüm sensörlerinin yerine GPS hız sensörleri artan düzeyde kullanılmaktadır. Ancak bu algılayıcıların doğruluğu konusunda sınırlı sayıda araştırma bulunmaktadır. Bu çalışma ile bu sensörlerin doğruluğu araştırılmış ve muhtemel hatalı verilerden dolayı oluşabilecek olumsuzlukların önüne geçilmesi hedeflenmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Tarım makinelerinde ve diğer araçlarda yer hızının (ilerleme hızı) belirlenmesinde değişik yöntemler mevcut olup, bu konuda bazı araştırmalar rapor edilmiştir. Bu yöntemlerin başlıcaları; tekerlek devir sensörü (rotational encoders), manyetik mil devir sensörü (shaft encoders), radar esaslı sensör ve ultrasonik esaslı sensördür (Grevis-James and Bloome, 1982; Richardson ve ark., 1982; Clark and Adsit, 1985; Summers ve ark., 1986; Tompkins ve ark., 1988; Khalilian ve ark., 1989). Geçmiş yıllarda yapılan araştırma sonuçlarına göre; Çizelge 1.3.'de de özetlendiği gibi bu yöntemlerin hepsinin dezavantajı olduğu görülmüştür. Örneğin radar ve ultrasonik sensörler toprak yüzeyinde bulunan uzun boylu bitki örtüsünden, toz ve rüzgârdan etkilenmekte ayrıca bu sensörlerden elde edilen sinyaller filtreleme gerektirmektedir (Richardson ve ark., 1982; Khalilian ve ark., 1989). Tekerlek devir sensörü ve manyetik mil sensörü de benzer şekilde kayma ve patinajdan etkilenmektedir (Tompkins ve ark., 1988). Görüntü (kamera) işleme esaslı yöntemde de ortamın aydınlatma seviyesi ve tozlanma gibi faktörler olumsuzluk yaratabilmektedir. GNSS veya GPS esaslı hız ölçüm yönteminin performansı üzerine de bazı araştırmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalardan önemli görülenleri aşağıda özetlenmiştir:

Richardson ve ark. (1982), hız verisinin ekim, gübreleme, ilaçlama işlemlerinde gübre, pestisit ve tohum miktarının kontrolü için gerekli olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca traktörün çeki etkinliğinin artırılabilmesi için ilerleme hızının ve tekerlerdeki kayma ve patinajın bilinmesi gerektiği belirtmişlerdir. İlerleme hızı ölçümünde düşük maliyetli olan optik ve akustik sensörler kullanılabilmekte ancak tozlanma, rüzgar ve bitki hareketleri bu algılayıcıların doğruluğunu olumsuz etkilemektedir. Ayrıca tekerlerin devir sayısı ve çevresel hızından yapılan ilerleme hızı tahmininin de tekerlerin kayma veya patinajı sebebiyle gerçek değerden daha yüksek değer gösterebildiğini belirtmişlerdir. Çalışmada bunlara alternatif olarak tek ve çift ışınlı radar hız algılayıcıları denenmiştir. Radar sensörlerinin de araç üzerindeki yerleşim yeri ve traktörün üç ana eksenindeki hareketinden (pitch, yaw, roll) olumsuz etkilendiğini bildirmişlerdir. Çalışmada, çift ışınlı radarın tek ışınlıya göre daha iyi sonuç verdiği ayrıca dar açılı ışının doğruluğu artırmada daha etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Radar

tipi hız algılayıcılarının %3 doğruluk değeri ile kıyaslanan diğer yöntemlere göre daha uygun olduğunu belirtmişlerdir.

Khalilian ve ark. (1989), radar, ultrasonik, ek tekerleğe ve ön tekerleğe yerleştirilen optik mil enkoderi olmak üzere 4 farklı hız sensörünü, 5 farklı yüzey koşulunda (asfalt, yumuşak toprak, sert toprak, işlenmiş toprak, çim ve yonca ekili zemin) ve 4 farklı hızda (3.4, 5.5, 7.7, 9.7 km/h) eşzamanlı olarak değerlendirmişlerdir. Sensörlerden ölçülen hız değerleri bir fotoelektrik hız ölçüm sistemi ile belirlenen referans hız değeri ile karşılaştırmışlardır. Fotoelektrik hız ölçüm sistemi el kronometresinden daha doğru hız göstermiştir. Hız algılayıcıları tekrarlanabilirlik ve tutarlılık açısından en iyi sonucu asfalt zeminde vermiştir. Radar ve ultrasonik sensörler, çim ve yonca ekili (ortalama 50 cm) yüzey hariç, diğer tüm yüzey koşullarında oldukça iyi performans göstermiştir. Çim ve yonca ekili yüzeyde traktörün hızı artıkça radar ve ultrasonik sensörlerin gösterdiği hız ve gerçek hız arasındaki fark artmıştır. Ön tekerlek ve ek tekerlekteki algılayıcıların kalibrasyonunun çalışılacak yüzeyde yapılması ölçüm hatalarını önemli derecede azaltmış olup, hız ölçümündeki ortalama hata kullanılan bu teknikle % 0.6'nın altına indiğini belirlemişlerdir.

Schubert ve ark. (1995), demiryollarında yer hızı ölçümü, alınan mesafe ve konumu belirlemek amacıyla 24 GHz frekansa sahip mikrodalga Doppler (radar) sensör sistemini incelemişlerdir. Sistem diğer radar hız sensörlerinde olduğu gibi gönderilen mikrodalga sinyali ile yere çarpıp yansıyan sinyal arasındaki frekans farkı esasına göre ve “ $F_d = F_0 \cdot (2v / c) \cdot \cos \alpha$ ” eşitliğine göre çalışmaktadır. Burada F_d : Doppler frekansı (gönderilen ve yansıyan sinyalin frekansları arası fark), F_0 : Mikrodalga frekansı, v : Aracın hızı, c : mikrodalga hızı (ışık hızı) ve α : Mikrodalga ışınının yatay düzlemle yaptığı açıdır. Çalışma sonucunda hız ölçümü için yaklaşık %1 ve mesafe ölçümü için 1000 m’de 2 m’lik (2m/1000m) doğruluk değeri elde edilmiştir. Bazı durumlarda yansıyan sinyalin düşük genlikli olması ve ışınının yanlış açıyla gelmesi nedeniyle sistemin dezavantajlı olabileceği ancak yeni teknikler kullanılarak sinyaldeki hata oranının azaltılabileceğini bildirmişlerdir. Hem yüksek doğruluk hem de yüksek güncelleme frekansı istenen uygulamalarda sisteme bir ivmeölçer eklenerek hatanın daha da azaltılması sağlanabilmektedir. Sistemin; tekerlek devrinden hız ölçümü yapmanın mümkün olmadığı manyetik kaldırıcı (magnetic levitation) esasıyla hareket

eden (tekerleği olmayan) trenlerin hızının ölçümü için uygun bir uygulama olduğunu saptamışlardır.

Imou ve ark. (2001), ultrasonik ve mikrodalga hız sensörlerinin düşük hızlarda ve geri harekette doğru değeri göstermediğini bildirmiş ve bu sorunu çözmek için yeni bir sinyal işleme yöntemi geliştirmişlerdir. Geliştirilen iki farklı prototip ultrasonik doppler sensör (ayrı tip ve birleşik tip) laboratuvar ortamında ve traktör üzerinde arazide denenmiştir. Denemeler laboratuvar ortamında 5 farklı zeminde (beton, kauçuk paspas, kısa yapay çim, uzun yapay çim, üzerine ahşap yarı kolonlar yapıştırılmış kontrplak) ve traktör üzerinde arazide 5 farklı zeminde (asfalt, çakıl, çim ekili düz yüzey, çim ekili pürüzlü yüzey, düz toprak zemin) yapılmıştır. Gerçek hız ile ölçülen ortalama hız arasındaki hata değerinin -%1.63 ile %1.03 arasında değiştiğini bildirmişlerdir. Sonuç olarak, geliştirilen prototip sensörlerin düşük hızlı ve geri hareket durumunda hızı yüksek doğrulukla ölçebildiğini ifade etmişlerdir.

Nishiwaki ve ark. (2002), çeltik tarlasında araç yönünü ve araç hızını belirlemek amacıyla kamera esaslı görüntü işleme tekniğini kullanmışlardır. Sistem makine ilerlerken art arda sıralı bir şekilde çekilen kamera görüntülerinden bitkilerin yerini belirleyerek ve daha sonra bitkilerin konumundan birim zamanda alınan mesafeyi (araç hızını) hesaplamaktadır. Elde edilen iki ardışık görüntüdeki bitki konumlarını kullanarak araç hızının belirlenebileceğini ifade etmişlerdir.

Witte ve Wilson (2004), GPS alıcılarının; atletlerin performansından, atlarda eğitim ve yarış performansının izlenmesine kadar birçok biyomekanik uygulamalarda kullanılabileceğini belirterek, hata azaltma özelliği olmayan (non-differential) bir GPS alıcısının hız ölçme doğruluğunu belirlemek için bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada bisiklet üzerine yerleştirilen bir hızölçer (manyetik Hall effect algılayıcı) ile GPS alıcısının gösterdiği hızı karşılaştırmışlardır. Denemeler uzunluğu bilinen düz ve dairesel koşu pistinde yapılmıştır. Çalışmada uydu sayısı ve uydu geometrisinin (Dilution of Precision, DOP) hataya etkisini incelemişlerdir. GPS alıcısının sabit hız ve sabit ivmeli hareketlerde doğru değeri gösterdiği ancak hızın aniden değiştiği koşullarda doğru değeri göstermediğini ifade etmişlerdir. GPS hızının; verilerin %45'inde gerçek hızın ± 0.2 m/s, %19'unda ise ± 0.4 m/s değeri içinde olduğu tespit edilmiştir (n=5060). Hatanın küçük yarıçapa sahip dairesel rotalarda daha fazla olduğu belirtilmiştir.

Zhang ve ark. (2004), GPS alıcısı ve GPS uyduları arasındaki bağıl hareketin; alınan sinyalin frekansı ile uydudan gönderilen sinyalin frekansı arasında bir kaymaya (Doppler kayması, Doppler shift) sebep olduğu ve buradan GPS alıcısının hızının belirlenebildiği ancak belirlenen hız değerinin doğruluğunun birçok faktör tarafından (iyonosfer ve troposfer kaynaklı sinyal gecikmesi, uydu saati ve alıcı saatindeki hata, çok doğrultulu sinyal alımı, uydu yörünge hatası, v.b.) etkilendiğini bildirmişlerdir. Doppler kayması ile hızın belirlenmesi için konum belirlemede olduğu gibi en az dört farklı uydudan veri alınması gereklidir. Çalışmalarında Doppler etkisinde meydana gelen hatalar ve bu hataları ortadan kaldırma ve azaltma yöntemlerini incelemişler, atmosferdeki gecikme için algoritmalar oluşturmuşlardır. Sonuç olarak Doppler kayması ile ilgili bütün hatalar tamamen düzeltildiğinde GPS alıcıları ile cm/s hatta mm/s doğruluğu ile hız verisinin belirlenebileceğini saptamışlardır.

Al-Gaadi (2005), hız ölçümünde el tipi bir GPS alıcısının (Garmin eTrex Venture) doğruluğunu test etmiştir. GPS alıcısından elde edilen hız değeri ile bir binek aracın tekerinden elde edilen hız değeri sekiz farklı hızda (5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 km/h) karşılaştırmıştır. Araç hızı, aracın tekerinin her turunda bir mıknatısın, algılayıcının önünden geçerken yarattığı darbe sinyali ile belirlenmiştir. Alıcıdan ve GPS aletinden gelen hız değerleri 10 saniyede bir veri kartı (CR23X micrologger) ile dizüstü bilgisayara kaydedilmiştir. Tekerleğin çapı referans hızı hesaplamak için kullanılmıştır. GPS alıcısından elde edilen hızın ortalama hata değerinin 1.27 km/h olduğu tespit edilmiştir (<%7.0). Ancak aracın dönüşü sırasında, hızdaki yüksek dalgalanmalar bu hatayı büyük ölçüde etkilemiştir. Aracın hızının 18.65 km/h'ten 11.19 km/h'e düşmesi durumunda hata değerinin -%80.2 olduğu bildirilmiştir. Sabit hızda ise hata değerinin 1 km/h'ten (<%5.3) az olduğu ancak 15 km/h hız durumunda hatanın daha fazla (1.72 km/h; %9.9) olduğu tespit edilmiştir.

Vishwanathan ve ark. (2005), farklı zemin koşullarında iki adet radar ve bir adet GPS olmak üzere 3 farklı hız algılama sistemini (Dickey John radar, Raven radar, AgExpress GVS GPS) karşılaştırmışlardır. Çalışma çeşitli bitki örtüleri (buğday ve kanola) ve zemin koşullarında (asfalt, işlenmiş toprak) sabit hız ve artan hız durumunda yapmışlardır. Referans hız olarak şaft (mil) enkoderi kullanılmış, hız kalibrasyonu 30.48 m (100 ft) mesafenin alındığı sürenin kronometre ile belirlenmesi ile yapılmıştır. Yapılan değerlendirmede; bitki boyu arttıkça radar hız algılayıcılarının hata değeri

artmıştır. Dickey John radar hız sensörü bütün yüzey ve hız koşullarında diğer sensörlere göre daha doğru ölçüm yapmıştır (± 0.151 km/h). Raven radar sensörü en az doğrulukta ölçüm yapmıştır; bu sensörün hatası rüzgar etkisiyle buğday ve kanola bitki örtüsündeki dalgalanmalar ve araç hızının artışıyla yükselmiştir. Maksimum hata değeri, hızlanma durumunda, radar hız sensörleri için 1.61 km/h (1.0 mph) iken GPS hız sensörü için gecikmeden dolayı 6.44 km/h (4.0 mph) olarak bulunmuştur. GPS hız sensörü bitki örtüsü olan yüzeylerde yüksek hızlar dışında doğru ölçüm yapmış olup, bunun nedeninin düzgün olmayan araç hareketi ve sürücü kaynaklı olabileceğini bildirmişlerdir. GPS hız sensörü olumlu sonuçlar vermiş ve maliyet avantajı nedeniyle sabit hız koşullarında hız ölçümü için kullanılabileceğini ifade etmişlerdir.

Keskin ve Say (2006), düşük maliyetli el tipi GPS alıcılarının hız ölçümü amacıyla kullanılabilirliğini incelemişlerdir. Çalışmada iki farklı marka güncelleme frekansı 1 Hz olan el tipi GPS alıcısı (Magellan SporTrak ve Garmin eTrex Vista) sabit hızda denenmiştir. GPS alıcılarından gelen verileri bilgisayarda okumak ve kaydetmek amacıyla bir program (QuickBasic Version 4.5) yazılmıştır. GPS alıcıları traktör (New Holland TD 95D) üzerine yerleştirilmiş, GPS verileri dizüstü bilgisayara kaydedilmiştir. Çalışma düz stabilize bir arazi yolunda 100 m'lik mesafede yapılmıştır. Referans hız; sabit hızda 100 m'lik mesafenin alındığı süreye bölünerek hesaplanmış, süre kronometre ile ölçülmüştür. Elde edilen verilere göre; GPS hızı ile ortalama referans hız arasında kuvvetli bir ilişki olduğunu görmüşlerdir. ($R^2 > 0.99$). Ayrıca tarımsal uygulamalarda sabit hızı ölçmek için düşük maliyetli el tipi GPS alıcılarının kullanılabileceğini belirlemişlerdir.

Koç ve ark. (2006), düşük maliyetli, güncelleme frekansı 1 Hz olan 14 kanallı GPS alıcısını (Magellan-Explorer-300) dinamik ve statik olarak test etmiştir. Çalışmada LabView grafiksel programlama dilinde bir program yazılarak GPS alıcısından gelen veriler bir USB bağlantısı ile bilgisayara aktarılmıştır. GPS alıcısı ve bilgisayar traktör üzerine monte edilmiş ve denemeler dairesel bir pistte üç vites kademesinde sabit hızlarda (3.0 km/h, 4.7 km/h, 7.0 km/h) yapılmıştır. Referans hızı belirlemek amacıyla kronometre kullanılmıştır. GPS alıcısının gösterdiği hız ile gerçek hız arasında; düşük hız kademesinde 1.21 km/h, yüksek hız kademesinde ise 1.42 km/h'lik fark olduğunu bildirmişlerdir. Sonuç olarak GPS alıcısı her üç hız kademesinde de gerçek hızdan daha düşük değerler göstermiştir.

Le Faucheur ve ark. (2007), düşük maliyetli ticari GPS alıcılarının, sağlıklı insanların yürüyüşünü incelemek, dinlenme ve yürüme sürelerini, hız ve mesafeyi doğru tahmin edebilmek için kullanılıp kullanılmayacağını incelemişlerdir. Çalışmada EGNOS düzeltme sinyali alım özelliğine sahip bir GPS alıcısı (Garmin GPS 60) kullanılmış, çeşitli sinyal işleme yöntemleri (low-pass filter, adapted high-pass filter, artifact processing) denenmiştir. Araştırmada 3 çalışma yapılmıştır: Birinci çalışmada, atletik koşu pistinde 6 sağlıklı insanla 21 kez yapılan yürüyüşteki yürüme ve dinlenme sürelerinde farklı veri işleme yöntemleri denenmiştir. İkinci çalışmada, veri işleme yöntemleri bir parkta sağlıklı 10 kişiyle denenmiştir. Üçüncü çalışmada, atletik koşu pistinde 100-400 m mesafelerde GPS alıcısı ile hesaplanan hız ve mesafe, gerçek hız ve mesafe ile karşılaştırılmıştır. Referans hızın belirlenmesinde kronometre yöntemi kullanılmıştır. Gerçek mesafe ile ölçülen mesafe ($R^2=1.000$) ve gerçek hız ile ölçülen hız ($R^2=0.947$) arasında güçlü bir ilişki olduğu bildirilmiştir. Düşük maliyetli GPS alıcısının veri işleme uygulanması koşuluyla açık alanda yapılan yürüyüşün incelenmesi için uygun olabileceği, yöntemin damar (vasküler) hastalığı olan hastaların yürüme mesafesi analizinde kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Townshend ve ark. (2007), hata düzeltme özelliği olmayan GPS alıcısı ile insanın yürüme hızı ve konumunu incelemişlerdir. Çalışmada sağlıklı 3 kişi düz ve virajlı bir yolda yürümüş ve koşmuştur. Hız verileri GPS alıcısından (GPS BT55) iki farklı yöntemle (Doppler kayması ve GPS konum/zaman) belirlenmiş ve kronometre ile belirlenen gerçek hız ile karşılaştırılmıştır. Veriler 100 m'lik bir mesafede karşılaştırılmış ve noktasal konum verileri 1 saat boyunca toplanmıştır. Düz yoldaki GPS hız değerlerinin gerçek hız değerleri ile yakından ilişkili olduğu belirlenmiştir (Doppler kayması: $r=0.9994$, GPS konum/zaman: $r=0.9984$). Doppler kayması yöntemi ile ölçülen hızdaki hatanın daha düşük olduğu bildirilmiştir (%90.8'i ± 0.1 m/s aralığında). Kavisli yolda ölçülen hızın gerçek hızdan bir miktar düşük olduğu ancak yüksek korelasyona sahip olduğu belirlenmiştir (Doppler kayması: $r=0.9985$, GPS konum/zaman: $r=0.9973$). GPS ile ölçülen mesafenin 100.46 ± 0.49 m olduğu ve belirlenen noktaların %86.5'inin gerçek konumun 1.5 m mesafesi içinde olduğu belirlenmiştir. Düzeltmesiz GPS alıcısının virajlı yolda gerçek hızdan daha düşük hız belirlemesine rağmen, insan hızını büyük ölçüde doğru tahmin ettiği, küçük boyut,

düşük maliyet ve kullanım kolaylığıyla ile birleştğinde, bu yöntemin hız ölçümünde düzeltmeli (diferansiyel) GPS alıcılara alternatif olabileceğini bildirmişlerdir.

Chalko (2007), GPS alıcılarının hareketli durumda belli zaman diliminde ardışık noktalar arasındaki mesafe ve zaman verisinden hızı hesapladığını ancak bu yöntemin doğruluğunun az olduğunu, GPS alıcılarının ayrıca bir diğer yöntemde Doppler frekans kayması (Uydu frekansı ile alıcıda belirlenen frekans arasındaki fark) yöntemiyle de hızı belirleyebildiğini ve bu yöntemin daha doğru sonuç verdiğini bildirmiştir. Doppler frekans kayması yönteminin diğer yöntemle kıyasla uyduya olan uzaklık, faz gecikmesi, v.b. hata faktörlerinden etkilenmediği bildirilmiştir. GPS alıcısı (Locosys GT-11) kullanarak yapılan denemede Doppler frekans kayması yöntemiyle hızın 0.01 knot (0.005 m/s) doğrulukla ölçülebildiği belirtilmiştir.

Chalko (2009), hız hassasiyet kaybı değeri (Speed Dilution of Precision, SDOP) kullanarak GPS Doppler hız ölçümü yönteminin doğruluğunu araştırmıştır. Çalışmada bir yelkenli üzerinde SiRF3 çipine sahip GT31 veri kaydedici ile hız ölçümleri üç gün boyunca farklı hava koşullarında (yağmur ve rüzgarlı hava dahil) yapılmıştır. Çalışmada yelkenliyi kullanan kişinin kaskına monte edilen iki adet GT31 kaydedici tarafından elde edilen veriler incelenmiştir. 0.04 knot (2 cm/s) değerinden daha kötü hata değeri gözlemlenmemiş, 0.10 knot (5 cm/s) üzerindeki hata değerlerinin ise çok düşük oranda ($\approx 1.6\%$) olduğu görülmüştür. GT31 veri kaydedici ile 10 saniyelik ortalama hız doğruluk değerinin 5 cm/s'den daha iyi bir doğrulukla ölçülebildiği belirtilmiştir.

Supej ve Cuk (2014), sabit ve değişken hız ölçümü amacıyla 5 farklı GNSS alıcısını karşılaştırmışlardır. Kullanılan alıcılar; akıllı telefon (HTC Sensation HD, 1 Hz), GPS alıcılı kol saati (Garmin Forerunner 305, 1 Hz), el tipi GPS alıcısı (Locosys Genie GT-31, 1 Hz), harici antenli araç test sistemi (Racelogic VBOX 20 SX, 20 Hz) ve RTK düzeltmeli GNSS alıcısından (Leica GX1230GG, 20 Hz) oluşmuştur. Cihazlar bir arabanın üstüne monte edilerek, hız verileri sabit hızda, hızlanma ve yavaşlama durumlarında kaydedilmiş ve analiz edilmiştir. Çalışmada 4 ana sonuç elde edilmiştir. Yüksek frekanslı ve yüksek kaliteli GNSS alıcıları araç göstergesine kıyasla benzer doğrulukta hız ölçümü yapmıştır. Bütün sistemler sabit hızda iyi sonuçlar göstermiş ancak hızlanma ve yavaşlamada farklı hızlarda farklı hata seviyeleri tespit edilmiştir. Frekansı 1 Hz olan düşük maliyetli GNSS alıcılarının gecikme süresi yüksek (< 2.16 s) olduğundan gerçek hız ölçümlerinde kullanılmasının uygun olmadığını bildirmişlerdir.

Sathyamorthy ve ark. (2015), GPS esaslı hız ölçüm yönteminin doğruluğunu değerlendirmek amacıyla bir simülasyon kullanmışlardır. Çalışmada GPS esaslı hız ölçümü için iki yöntem (birim zamandaki konum değişimi ve Doppler frekans kayması) karşılaştırılmıştır. Birim zamandaki konum değişimi yönteminde önemli düzeyde hata olduğu ve ayrıca yüksek hızlarda daha yüksek hata olduğu, Doppler frekans kayması yönteminde hata miktarının daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Keskin ve ark. (2017b), sabit hız ve değişken hız durumlarında düşük maliyetli iki el tipi GPS alıcısının etkinliğini araştırmışlardır. İki farklı düşük maliyetli GNSS alıcısı dört farklı günde dört hız seviyesinde test edilmiştir. Referans hız kaynağı olarak tarım traktörüne monte edilmiş bir ek tekerleğin üzerine yerleştirilen döner mil enkoderi kullanılmıştır. Hem enkoder hem de GPS alıcılarından gelen hız verileri bilgisayara kaydedilmiştir. GPS alıcılarının gösterdiği hızın hızlanma ve yavaşlama durumlarında referans hıza kıyasla geciktiği gözlemlenmiştir. Ortalama gecikme süresinin, 1 nolu GPS alıcısı için 3.6 s ve 5.2 s, 2 nolu GPS alıcısı için ise 1.7 s ve 2.5 s arasında olduğu tespit edilmiştir. Artan ve azalan hızlarda, iki alıcı arasında veri gecikmesi açısından anlamlı bir fark bulunmuştur ($p < 0.05$). GPS hız verilerini kaydırarak yapılan düzeltme sonrası, her iki alıcıda da hız ölçüm doğruluğunun arttığı ve ortalama korelasyon katsayısının 1 nolu GPS alıcısı için 0.30'dan 0.90'a, 2 nolu GPS alıcısı için 0.65'den 0.98'e kadar yükseldiği bulunmuştur. Düşük maliyetli GPS alıcıları tarım makinalarında yer hızı ölçümünde kullanıldığını ancak bu alıcıların değişken (artan, azalan) hız koşullarında kullanılmaları konusunda dikkatli olunması gerektiğini bildirmişlerdir.

Önceki çalışmalar incelendiğinde el tipi GNSS alıcılarının hız ölçümü performansı üzerine araştırma yapıldığı ancak bu çalışmaların çoğunda veri güncelleme frekansı standart 1 Hz olan alıcıların kullanıldığı görülmüştür. Son yıllarda veri güncelleme frekansı daha yüksek olan GNSS alıcıları piyasaya sunulmuştur. Özellikle tarım alanında kullanılan ve birçok dezavantaja sahip olan eski tip radar hız sensörlerinin yerini alacak farklı güncelleme frekansına sahip GPS hız sensörleri piyasada mevcuttur. Ancak bu sensörlerin katalog bilgileri incelendiğinde hız ölçüm performansı (özellikle değişken hızlarda) konusunda yeterli bilgi olmadığı görülmüştür. Bu sebeple yapılan bu çalışmada, üç farklı veri güncelleme frekansına (1 Hz, 5 Hz, 7 Hz) sahip üç adet GPS hız sensörünün sabit ve değişken hızlardaki hız ölçüm performansı incelenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. GPS hız sensörleri

Çalışmada ticari olarak piyasada satılan ürünlerden farklı veri güncelleme frekanslarına (1 Hz, 5 Hz, 7 Hz) sahip üç adet GPS hız sensörü kullanılmıştır. Çalışmaya dahil edilen GPS hız sensörlerine ait bazı teknik özellikler Çizelge 3.1’de, sensörlerin görüntüsü ise Şekil 3.1’de ve Şekil 3.2’de verilmiştir.

3.1.2. Traktör ek teker hız ölçüm sistemi

Çalışmada Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği bölümünde mevcut olan ek tekerlek ve hız ölçüm sistemi traktör üzerine monte edilerek kullanılmıştır. Hız ölçüm sistemi ek tekerlek üzerine yerleştirilen bir optik esaslı döner devir ölçer (optical rotary shaft encoder) aracılığı ile yapılmakta olup sistem tarım traktörü üzerine monte edilerek kullanılmaktadır. Kullanılan optik mil enkoderine ait bazı teknik özellikler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

3.1.3. Veri toplama (DAQ) ve kayıt sistemi

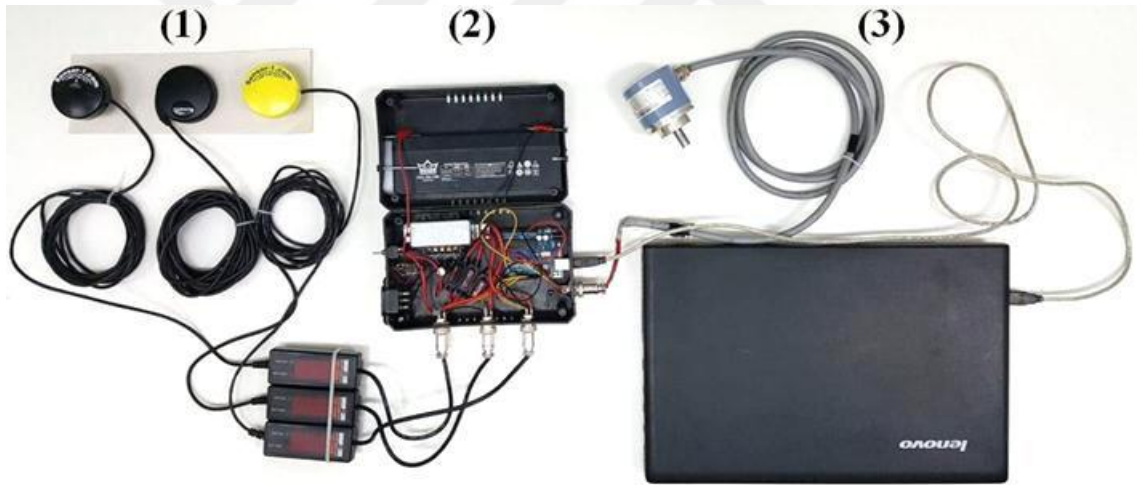
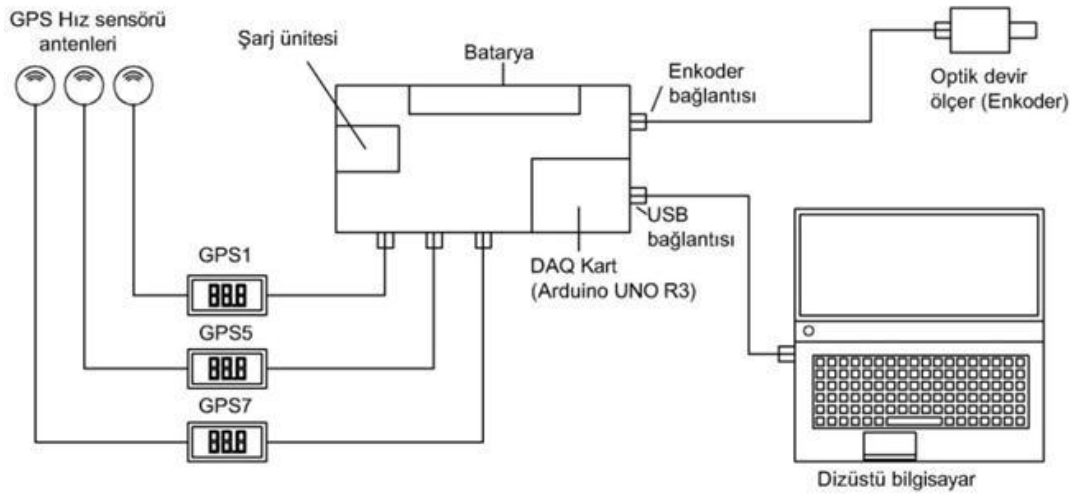
Ek tekerlekli hız ölçüm sisteminden ve GPS hız sensörlerinden elde edilen sinyaller uygun bir veri toplama kartı (Data Acquisition Card, DAQ) (Arduino Uno) ile bilgisayara aktarılmıştır. Kullanılan veri toplama kartına ait bazı teknik özellikler Çizelge 3.1’de verilmiştir. Veri toplama sisteminin şematik gösterimi Şekil 3.1’de, fotoğrafı ise Şekil 3.2’de verilmiştir. Deneyler sırasında verilerin toplanması ve kaydedilmesi amacıyla dizüstü bilgisayar (HP EliteBook 8560p) kullanılmıştır.

3.1.4. Tarım traktörü

Çalışmada orta güce sahip dört lastik tekerlekli bir tarım traktörü (MF 250G) kullanılmıştır. Traktör 2 hız kademesi (Hızlı, Yavaş) ve dört vitese (1, 2, 3, 4) sahiptir (Şekil 3.3).

Çizelge 3.1. Optik döner mil enkoderi, GPS hız sensörleri ve veri alma kartının bazı teknik özellikleri

Marka ve Model		Teknik Özellikler
Optik Mil Enkoderi (Devir ölçer)	Wachendorff WDG 58B-1000	Besleme gerilimi: 5VDC Çıkış sinyali: 1000 Hz/devir Sinyal şekli: Kare sinyal (0-5 V)
GPS1	Sensor-1 GPSMD-1	Besleme gerilimi: 9-18VDC Güncelleme frekansı: 1 Hz Çıkış sinyali: 57 Hz/mpH Sinyal şekli: Kare sinyal (0-12 V) WAAS uyumlu
GPS5	Sensor-1 GPSMD-5	Besleme gerilimi: 9-18VDC Güncelleme frekansı: 5 Hz Çıkış sinyali: 57 Hz/mpH Sinyal şekli: Kare sinyal (0-12 V) WAAS uyumlu
GPS7	Sensor-1 GPSMD-7	Besleme gerilimi: 9-18VDC Güncelleme frekansı: 7 Hz Çıkış sinyali: 57 Hz/mpH Sinyal şekli: Kare sinyal (0-12 V) WAAS uyumlu
DAQ kart	Arduino Uno	Besleme gerilimi: 5VDC (USB) Dijital kanal sayısı: 14 (6 PWM) Analog kanal sayısı: 6 Bellek: 32 KB





Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan donanımının traktör üzerinde yerleşimi

3.1.5. Yazılım

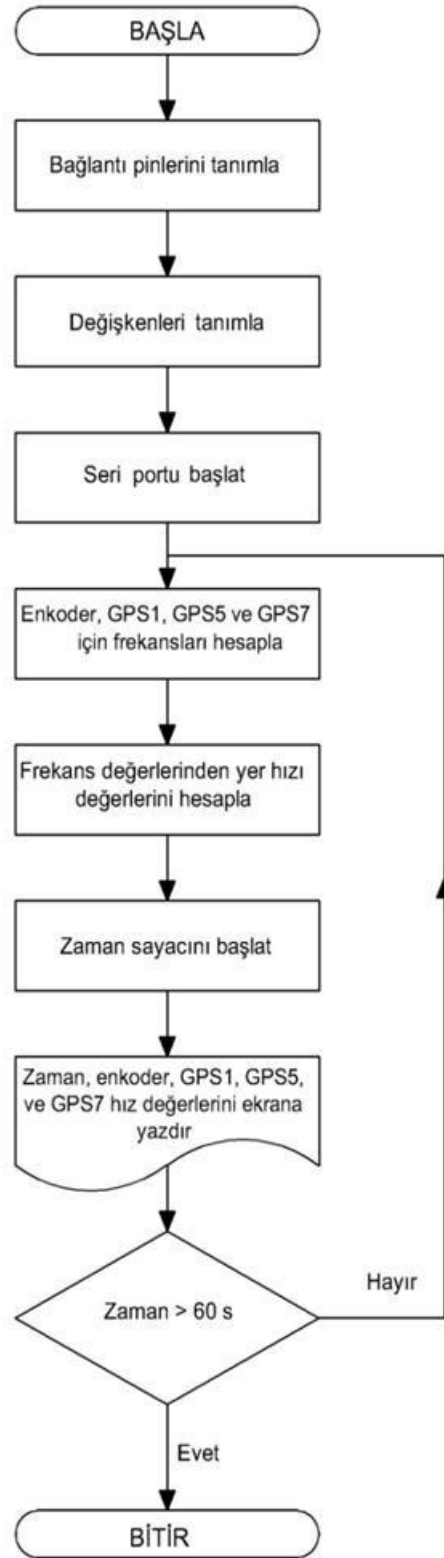
Çalışmada ölçüm sistemlerinden gelen dört farklı frekans sinyalinin aynı anda DAQ kart ile okunması, işlenmesi ve bilgisayar ekranında gösterilmesi amacıyla Arduino IDE ortamında (Versiyon: 1.6.9) bir program yazılmış ve denemelerde bu program kullanılmıştır. Kullanılan programın akış diyagramı Şekil 3.4’de, program kodu Çizelge 3.2’de verilmiştir.

GPS hız sensörleri ve ek tekerlek optik mil devir ölçer (enkoder) hıza bağlı olarak artan şekilde kare darbe sinyali (frekans) üretmektedir. Programda sensörlerden gelen frekans değeri belirlendikten sonra frekans değerleri uygun eşitlikle hız değerine dönüştürülmektedir.

Programda öncelikle bağlantı pinleri ve değişken tanımlama işlemi yapılmaktadır (Şekil 3.4, Çizelge 3.2). Bu amaçla veri alma kartının 4 dijital pini (no: 3, 5, 7, 9) kullanılmıştır. Frekansı ölçmek için darbenin yüksek (pulseHigh) ve düşük (pulseLow) olduğu süreleri ve bu sürelerin toplamını (pulseTotal) tutmak için ve ayrıca frekans (freq) ve hız (Speed) değerlerini tutmak için değişkenler tanımlanmıştır. Ayrıca program başladıktan sonraki zamanı tutmak için de ayrı bir değişken (time)

tanımlanmıştır. Seri port ile iletişim 9600 baud üzerinden tanımlanmış, Pin modları veri okuma amacına istinaden giriş (INPUT) şeklinde tamamlanmıştır. Her 4 sensör için toplam darbe genişliği (periyot) mikrosaniye olarak hesaplandıktan sonra 1000000 sayısı bu değere bölünerek buradan frekans değeri (Hz) hesaplanmıştır. Ek tekerlek üzerindeki optik mil devir ölçer bir devirde 1000 Hz'lik frekans ürettiğinden ve ek tekerleğin çapı 50 cm (çevresi 1.570795 m) olduğundan 1 m/s'lik hız değeri 636.6203 Hz frekans değerine ($1000 / 1.570795$) denk gelmektedir. GPS hız sensörleri ise bir mil/h hız için 57 Hz'lik darbe sinyali ürettiğinden 1 m/s'lik hız değeri 127.505 Hz frekans değerine ($57 / 0.44704$) denk gelmektedir. Bu sebeple ek tekerlekten hız değerini hesaplamak için frekans değeri 636.6203 değerine, GPS sensörlerinden hız değerini hesaplamak için ise frekans değeri 127.505 değerine bölünmüştür.

Daha sonra, başlangıçtan beri geçen zaman 60 saniye olduğunda programın otomatik olarak sonlandırılması sağlanmıştır. Bu süre her bir veri alma işlemi başlamadan önce yavaş hızlarda artırılmış, yüksek hızlarda azaltılmıştır. Son olarak hesaplanan zaman ve hız değerleri ekrana yazdırılmıştır. Hız denemesi sona erdiğinde veriler ekrandan alınarak TXT uzantısı ile metin dosyası olarak kaydedilmiştir.



Şekil 3.4. Çalışmada kullanılan bilgisayar programının akış diyagramı

Çizelge 3.2. Çalışmada kullanılan Arduino IDE bilgisayar programının kodu

<pre>// GPS Hiz ölçümü programı // Baglanti pinleri ve değişkenleri tanımla: const int pulsePin1 = 3; const int pulsePin2 = 5; const int pulsePin3 = 7; const int pulsePin4 = 9; float time; long pulseHigh1; long pulseLow1; float pulseTotal1; float freq1; long pulseHigh2; long pulseLow2; float pulseTotal2; float freq2; long pulseHigh3; long pulseLow3; float pulseTotal3; float freq3; long pulseHigh4; long pulseLow4; float pulseTotal4; float freq4; float Speed1; float Speed2; float Speed3; float Speed4; // DAQ kart iletişim ayarları ve pin modları: void setup() { Serial.begin (9600); pinMode(pulsePin1, INPUT); pinMode(pulsePin2, INPUT); pinMode(pulsePin3, INPUT); pinMode(pulsePin4, INPUT); Serial.print("Time, SpEncoder, SpGPS1Hz, SpGPS5Hz, SpGPS7Hz"); Serial.println(" "); } </pre>	<pre>// Surekli veri oku, hesapla ve ekrana yazdır: void loop() { pulseHigh1 = pulseIn(pulsePin1, HIGH); pulseLow1 = pulseIn(pulsePin1, LOW); pulseTotal1 = pulseHigh1 + pulseLow1; freq1 = 1000000 / pulseTotal1; pulseHigh2 = pulseIn(pulsePin2, HIGH); pulseLow2 = pulseIn(pulsePin2, LOW); pulseTotal2 = pulseHigh2 + pulseLow2; freq2 = 1000000 / pulseTotal2; pulseHigh3 = pulseIn(pulsePin3, HIGH); pulseLow3 = pulseIn(pulsePin3, LOW); pulseTotal3 = pulseHigh3 + pulseLow3; freq3 = 1000000 / pulseTotal3; pulseHigh4 = pulseIn(pulsePin4, HIGH); pulseLow4 = pulseIn(pulsePin4, LOW); pulseTotal4 = pulseHigh4 + pulseLow4; freq4 = 1000000 / pulseTotal4; // Surekli hiz değerlerini hesapla: Speed1 = freq1 / 636.6203; // 636.62 Hz = 1 m/s Speed2 = freq2 / 127.505; // 127.505 Hz = 1 m/s Speed3 = freq3 / 127.505; // 127.505 Hz = 1 m/s Speed4 = freq4 / 127.505; // 127.505 Hz = 1 m/s time = micros(); // Zaman (us) tut Serial.print(time/1000000); // Zamani s'ye çevir Serial.print(", "); // Zamani ekrana yazdır // Surekli zaman ve hiz değerlerini ekrana yazdır Serial.print(Speed1); Serial.print(", "); Serial.print(Speed2); Serial.print(", "); Serial.print(Speed3); Serial.print(", "); Serial.print(Speed4); Serial.println(""); if((time/1000000) >60) // 60 s sonra dur { exit(1); } } </pre>
---	--

Çalışmada ayrıca GPS sinyal kalitesinin uygun olup olmadığı da incelenmiştir. Bu amaçla; her hız ölçümü denemesi sonunda, el tipi 12 kanallı bir GPS alıcısı (Garmin GPS MAP 60) dizüstü bilgisayarın COM portuna bağlanarak (3 gün x 3 zaman = 9 ölçüm) yaklaşık 10 dakika süreyle GPS verileri QBASIC dilinde yazılan bir program ile (Keskin ve ark., 2009) alınarak dizüstü bilgisayara kaydedilmiştir. Elde edilen veriler QBASIC dilinde yazılan başka bir program (Keskin ve ark., 2009) ile işlenerek MS Excel programına aktarılmıştır. Önemli olan bazı verilerin (Kullanılan uydu sayısı, EHPE, EVPE, HDOP, VDoP) en düşük (Min), en yüksek (Mak), ortalama (Ort) ve standart sapma (SS) değerleri hesaplanarak Çizelge 3.3.'de özetlenmiştir.

Buna göre; kullanılan uydu sayısı 5 ile 10 arasında değişmektedir ki GPS alıcılarının konumu üç boyutlu (enlem, boylam, yükselti) olarak belirleyebilmesi için en az 4 uydudan veri kullanması gerekmekte olduğundan (Jeffrey, 2010), çalışma süresince, deneme yapılan yerde yeterli sayıda uydudan veri alındığı görülmüştür. Her 9 denemede (3 gün x 3 zaman) de sinyal kalitesinin 2 olduğu (0: Hesaplama geçersiz, 1: Düzeltme sinyali yok, 2: Düzeltme sinyali var) ve değişmediği görülmüştür (Adamchuk, 2001).

EHPE (Estimated Horizontal Position Error; Tahmini Yatay Konum Hatası) ve EVPE (Estimated Vertical Position Error; Tahmini Dikey Konum Hatası) değerlerinin tüm denemeler boyunca 2.3 m ile 6.8 m arasında değiştiği görülmüş olup, bu değerlerin düşük maliyetli el tipi bir GPS alıcısı için uygun olduğu değerlendirilmiştir.

Ayrıca HDOP (Horizontal Dilution of Precision; Yatay Uydu Geometri Hassasiyet Kaybı) ve VDOP (Vertical Dilution of Precision; Dikey Uydu Geometri Hassasiyet Kaybı) değerlerinin 0.8 ile 3.1 arasında olduğu ve bu değerlerin doğru bir konumlama için yeterli olduğu (<6) (Jeffrey, 2010) (<5) (Dyukov, 2016) değerlendirilmiştir.

Çizelge 3.3. Deneme zamanında GPS sinyali durumuna ilişkin bazı veriler

Deneme Günü ve Zamanı	Hava Durumu		Kullanılan Uydu Sayısı	EHPE*	EVPE*	HDoP*	VDoP*
1.Gün Sabah	Az bulutlu, puslu	Min.:	5	3.2	3.5	1.1	1.0
		Maks.:	8	5.5	5.9	2.9	2.7
		Ort.:	6.7	3.7	4.0	1.5	1.5
		S.S.:	0.54	0.46	0.42	0.38	0.47
1.Gün Öğle	Parçalı bulutlu	Min.:	7	2.8	5.1	1.4	2.0
		Maks.:	9	3.4	6.8	1.7	2.8
		Ort.:	7.0	3.0	5.7	1.6	2.3
		S.S.:	0.22	0.18	0.50	0.10	0.17
1.Gün Akşam	Açık	Min.:	7	2.6	3.8	1.0	1.3
		Maks.:	7	3.7	4.8	1.7	1.9
		Ort.:	7.0	2.8	4.0	1.1	1.4
		S.S.:	0.00	0.29	0.22	0.09	0.10
2.Gün Sabah	Parçalı bulutlu	Min.:	5	2.6	5.4	1.3	1.0
		Maks.:	6	3.0	6.4	2.0	3.1
		Ort.:	5.1	2.9	5.9	1.8	1.7
		S.S.:	0.24	0.07	0.26	0.12	0.62
2.Gün Öğle	Parçalı bulutlu	Min.:	7	2.7	4.3	1.1	1.4
		Maks.:	8	3.3	6.8	1.8	3.1
		Ort.:	7.5	3.0	5.1	1.4	2.0
		S.S.:	0.50	0.18	0.79	0.19	0.43
2.Gün Akşam	Parçalı bulutlu	Min.:	7	2.3	3.4	1.1	1.7
		Maks.:	8	3.0	4.2	1.3	2.0
		Ort.:	7.5	2.6	3.7	1.2	1.8
		S.S.:	0.50	0.26	0.31	0.05	0.08
3.Gün Sabah	Açık	Min.:	6	3.0	3.0	0.8	1.1
		Maks.:	10	6.8	5.8	1.9	1.9
		Ort.:	8.5	3.9	3.7	1.1	1.2
		S.S.:	0.90	1.08	0.77	0.36	0.23
3.Gün Öğle	Açık	Min.:	7	2.5	3.7	0.9	1.1
		Maks.:	8	3.3	6.0	1.3	2.0
		Ort.:	7.9	2.6	4.0	1.0	1.2
		S.S.:	0.32	0.17	0.29	0.08	0.14
3.Gün Akşam	Açık	Min.:	7	2.4	3.4	0.9	1.2
		Maks.:	10	3.4	5.4	1.3	2.0
		Ort.:	7.3	2.6	3.7	1.1	1.7
		S.S.:	0.49	0.27	0.44	0.11	0.28

*EHPE: Estimated Horizontal Position Error (Tahmini Yatay Konum Hatası, m)

*EVPE: Estimated Vertical Position Error (Tahmini Dikey Konum Hatası, m)

*HDOP: Horizontal Dilution of Precision (Yatay Uydu Geometri Hassasiyet Kaybı)

*VDOP: Vertical Dilution of Precision (Dikey Uydu Geometri Hassasiyet Kaybı)

3.2. Yöntem

Çalışmada yapılan işlemlerde kullanılan yöntemler aşağıda verilmiştir:

3.2.1. Traktör hız ölçüm sisteminin kalibrasyonu

Traktörün 4 farklı vites kademesinde, enkoderin ölçtüğü hız ile gerçek hız (Mesafe/zaman) arasında kalibrasyon işlemi yapılmıştır. Veriler her hız kademesinde 4 kez alınmıştır ($n = 4 \times 4 = 16$). Bu amaçla gerçek hızın belirlenmesinde kronometre yöntemi ($Hız = Mesafe / Zaman$) kullanılmıştır. Traktör 30 m'lik düz bir mesafede sabit hızda sürülerek geçen zaman kronometre ile tespit edilmiştir. Ortalama hız değeri ($V = S / t$); mesafenin ($S = 30$ m) zamana (t) bölümü yolu ile m/s birimiyle hesaplanmıştır. Elde edilen gerçek hız ve enkoder hızı değerleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Daha sonra bu değerler MS Excel yazılımında grafik haline getirilerek (Şekil 3.5) regresyon ve kalibrasyon eşitlikleri hesaplanmış ve elde edilen eşitlikler aşağıda verilmiştir. Farklı güncelleme frekansına sahip GPS hız sensörlerinin kıyaslanması işleminde referans hız olarak kullanılan optik döner mil enkoder hız değerleri aşağıda verilen kalibrasyon eşitliğine göre düzeltilmiştir.

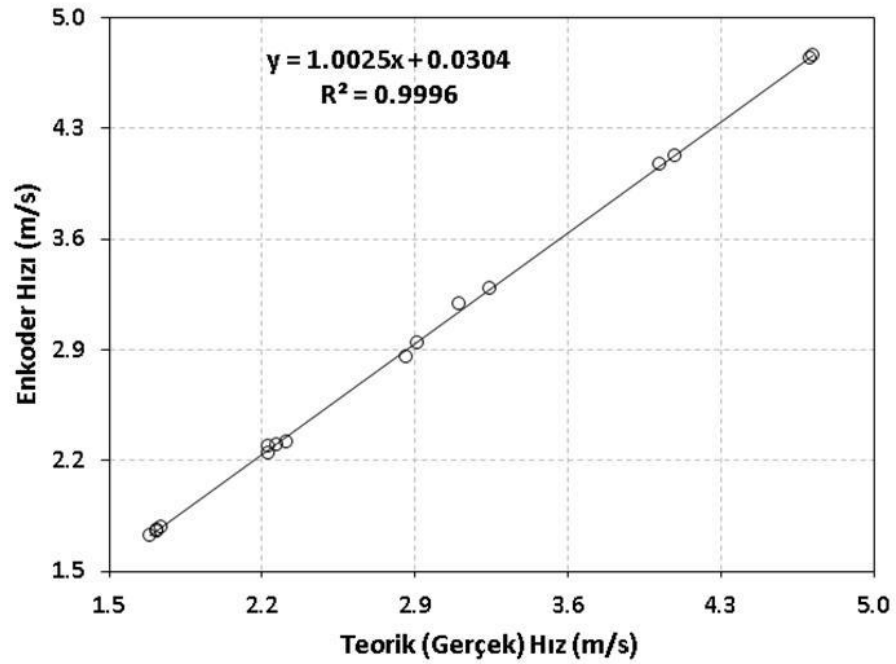
$$\text{Regresyon Eşitliği: } Y = 1.0025 * X + 0.0304$$

$$\text{Kalibrasyon Eşitliği: } X = 0.9975 * Y - 0.0303$$

Yukarıda verilen eşitliklerde X; Teorik (Gerçek) hızı (m/s) ve Y ise Enkoder hızını (m/s) göstermektedir.

Çizelge 3.4. Kalibrasyon işleminde elde edilen gerçek hız ve enkoder hızı değerleri

Hız Kademesi	Deneme No	Gerçek hız (m/s)	Enkoder Hızı (m/s)
1	1	1.72	1.75
1	2	1.72	1.76
1	3	1.74	1.78
1	4	1.69	1.73
2	1	2.23	2.25
2	2	2.27	2.30
2	3	2.31	2.32
2	4	2.23	2.29
3	1	2.91	2.94
3	2	2.86	2.86
3	3	3.10	3.19
3	4	3.24	3.29
4	1	4.09	4.13
4	2	4.72	4.76
4	3	4.02	4.07
4	4	4.71	4.74



Şekil 3.5. Teorik ve enkoder hızlarının değişimi ve regresyon eşitliği

3.2.2. Hız ölçüm denemeleri

Farklı hız kademelerinde artan hız, sabit hız ve azalan hız durumlarında ek tekerlek üzerindeki optik mil enkoderinden gelen referans hız ile farklı veri güncelleme frekansına sahip üç adet GPS esaslı hız sensöründen (GPS1, GPS5, GPS7) elde edilen veriler dizüstü bilgisayara kaydedilmiştir.

Her bir denemede, tüm sistem hazır hale getirildikten sonra, traktör önce artan hızda hareket ettirilmiş, belli bir hıza ulaştıktan sonra uygun bir süre sabit hızda harekete devam edilmiş ve sonrasında yavaşlayarak azalan hızda ölçüme devam edilmiş ve deneme sonunda traktör durdurulmuştur. Denemeler 3 farklı günde, her günün 3 farklı zamanında (Sabah, öğle, akşam), 4 farklı hız kademesinde ve her hız kademesi için 4 tekrarlı olarak yapılmıştır (Çizelge 3.5). Çalışmada kullanılan traktör 2 hız kademesi ve 4 vites sayısına sahip olup denemeler yüksek hız kademesinden 4 viteste yapılmıştır. Buna göre hız denemeleri toplam 144 kez tekrar edilmiştir.

Her bir hız denemesinde, GPS hız sensörleri, üzerinde optik mil enkoderi (devir ölçer) bulunan ek tekerlek, devre kutusu ve dizüstü bilgisayar traktör üzerine monte edilmiştir. Tüm donanım ve yazılım sisteminin denemeye hazır ve çalıştığından emin olunduktan sonra, traktör 1.Vites kademesinde önce artan hızda, sonra sabit hızda ve daha sonra yavaşlayan hızda yaklaşık 100 m'lik mesafede sürülerek hız verileri kaydedilmiştir. Aynı işlem her vites kademesinde toplam 4 kez tekrarlanmıştır. Daha sonra 2.Vites, 3.Vites ve 4.Vites kademesinde hız ölçümü deneme işlemleri tekrar edilerek veriler dizüstü bilgisayara metin dosyası (TXT) olarak kaydedilmiştir.

Tüm hız denemeleri Mustafa Kemal Üniversitesi Tayfur Sökmen Yerleşkesi içerisinde (36.322622 N, 36.195587 E) beton zemin üzerinde güney-kuzey doğrultusunda yapılmıştır.

Çizelge 3.5. Hız ölçüm denemelerine ilişkin bilgiler

Deney Kriteri	Deney Kriteri Sayısı
Deney günleri (3 gün)	24.04.2018
	25.04.2018
	26.04.2018
Deney zamanları (3 zaman)	Sabah (9:00-11:00 arası)
	Öğle (13:00-15:00 arası)
	Akşam (17:00-19:00 arası)
Hız kademeleri (4 kademe)	1.vites (~1.40 – 1.80 m /s)
	2.vites (~2.00 – 2.50 m /s)
	3.vites (~2.70 – 3.20 m /s)
	4.vites (~4.30 – 5.20 m /s)
Tekrar sayısı	Her hız kademesinde 4 tekrar
Toplam deneme sayısı	144 (3 gün x 3 zaman x 4 hız x 4 tekrar)

3.2.3. Veri analizi

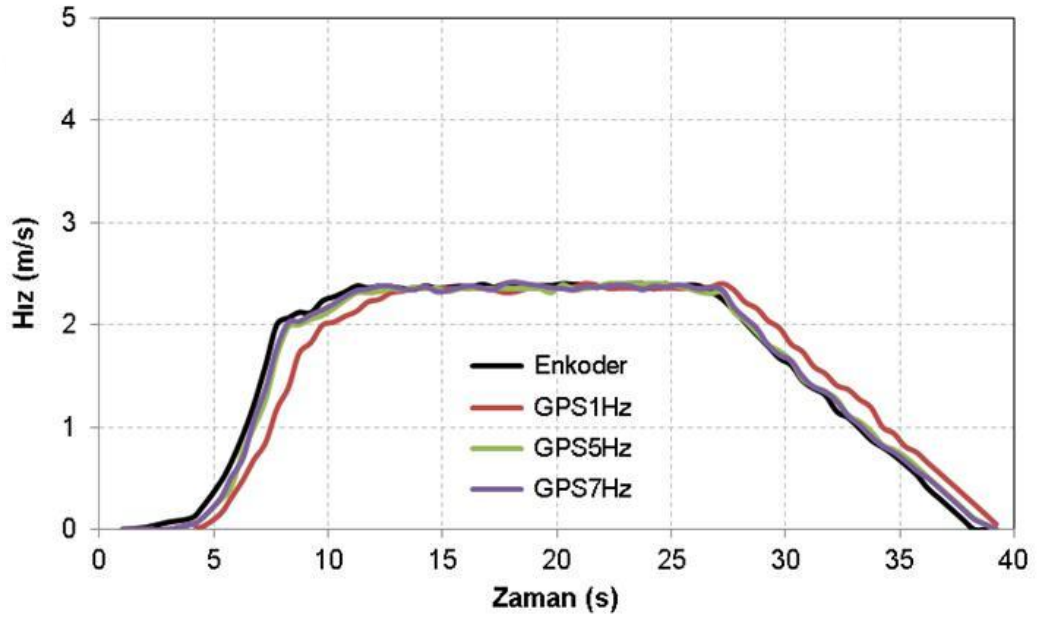
Yapılan denemelerden elde edilen hız ölçüm verileri MS Excel yazılımında analiz edilerek bulgular uygun çizelge ve grafikler halinde gösterilmiş, istatistiksel analiz ile değerlendirilerek sonuçlara ulaşılmıştır.

Farklı güncelleme frekansına sahip üç adet GPS hız sensörünün (GPS1, GPS5, GPS7) hız ölçümü hata değerleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olup olmadığını ve farklı gün, farklı zaman, ivme ve hız kademelerinin etkili olup olmadığını incelemek için istatistiksel analiz yapılmıştır. İstatistiksel analizde SPSS (v.17; IBM, New York, USA) yazılımı ile varyans analizi ve Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılmıştır.

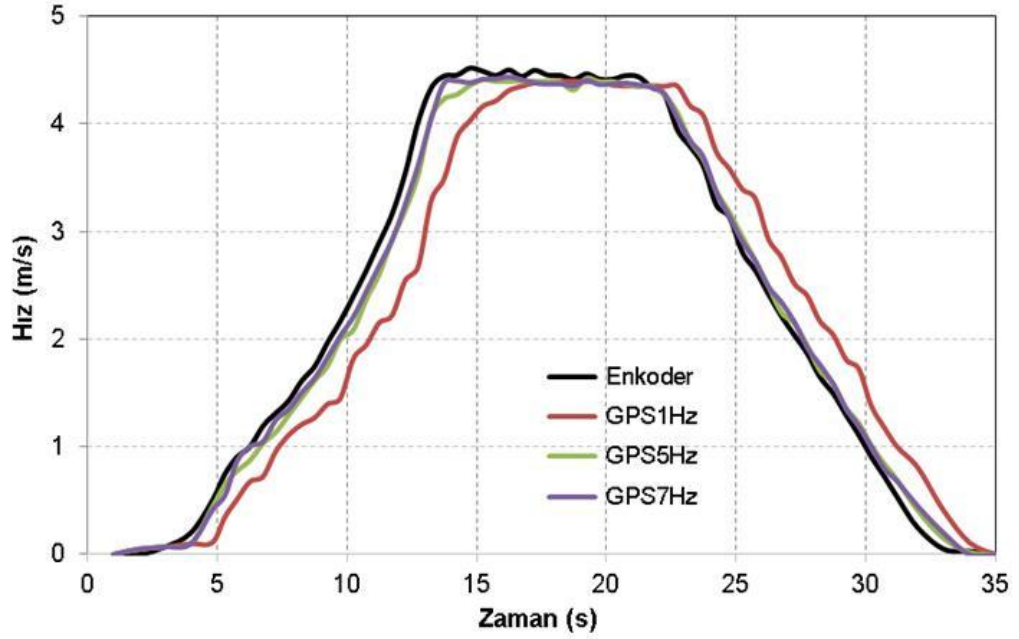
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Farklı veri güncelleme frekansına (1 Hz, 5 Hz, 7 Hz) sahip üç GPS hız sensörüne (GPS1, GPS5, GPS7) ait yer hızı (ilerleme hızı) değerlerinin artan hız (pozitif ivme), sabit hız (sıfır ivme) ve azalan hız (negatif ivme) durumunda referans hıza (optik döner mil enkoderi) göre değişimi düşük hız (1.vites) durumunda Şekil 4.1’de ve yüksek hız (4.vites) durumunda Şekil 4.2’de verilmiştir.

Şekillerden de görüldüğü gibi, hem düşük hız durumunda hem de yüksek hız durumunda, 5 Hz ve 7 Hz güncelleme frekansına sahip GPS hız sensörlerinin 1 Hz frekansa sahip olana kıyasla referans hıza daha yakın değerler verdiği görülmüştür. Artan hız durumunda, GPS hız sensörleri veri iletimindeki gecikme sebebiyle referans hıza göre daha düşük değerler verirken, sabit hızda hız değerleri birbirine yakın olup, azalan hız durumunda GPS hız sensörlerinin referans hızdan daha yüksek değerler verdiği görülmüştür.

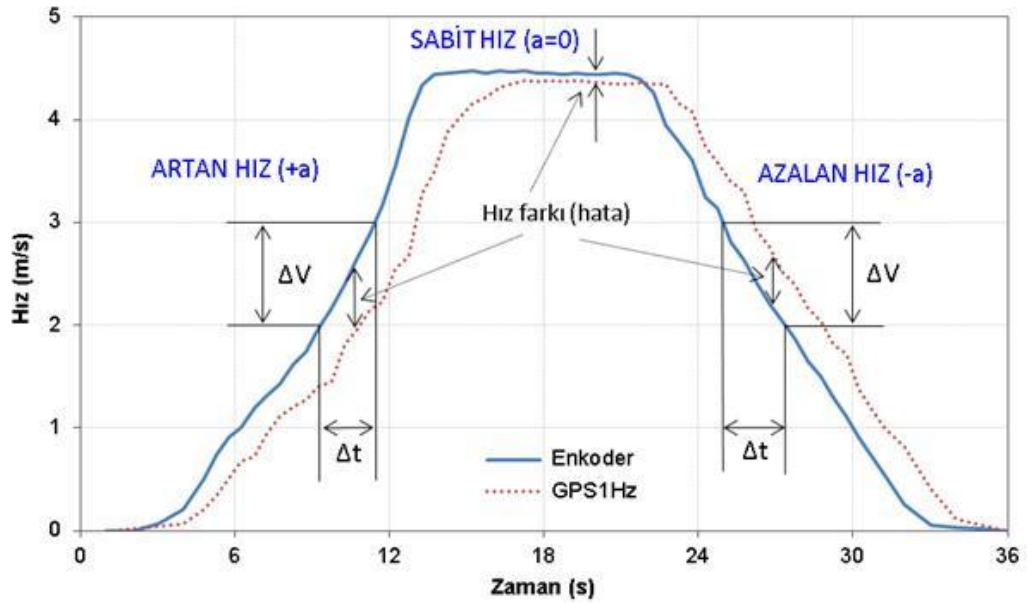


Şekil 4.1. Düşük hız kademesinde üç farklı GPS hız sensöründen ölçülen hızların referans hıza göre değişimi



Şekil 4.2. Yüksek hız kademesinde üç farklı GPS hız sensöründen ölçülen hızların referans hızla göre değişimi

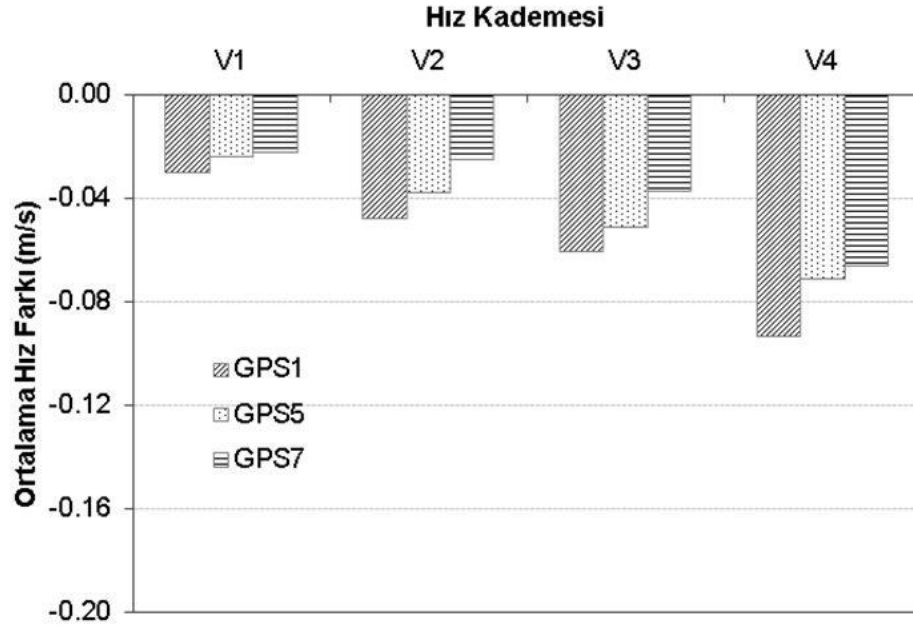
Çalışmada hızlanma ve yavaşlama durumunda ivme ile hız ölçüm hatası arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla, her bir hız denemesi için artan hız durumunda ve azalan hız durumunda ortalama ivme değerleri hesaplanmıştır. Bu değer; Şekil 4.3'de gösterildiği gibi, hem artan hız, hem de azalan hız durumunda ortalama hız farkının (ΔV) ortalama zaman farkına (Δt) bölünmesi yolu ile hesaplanmıştır. Ortalama hız farkı (hata) değeri ise optik döner mil devir ölçerin (enkoderin) gösterdiği hız ile GPS hız sensörlerinin gösterdiği hız değerinin (GPS1, GPS5, GPS7) farkı alınarak hesaplanmıştır (Şekil 4.3). Şekilde karmaşıklığa neden olmamak için sadece bir GPS hız sensörü (GPS1) için gösterim yapılmıştır.



Şekil 4.3. Ortalama ivme ve ortalama hız farkı (hata) değerlerinin hesaplanması

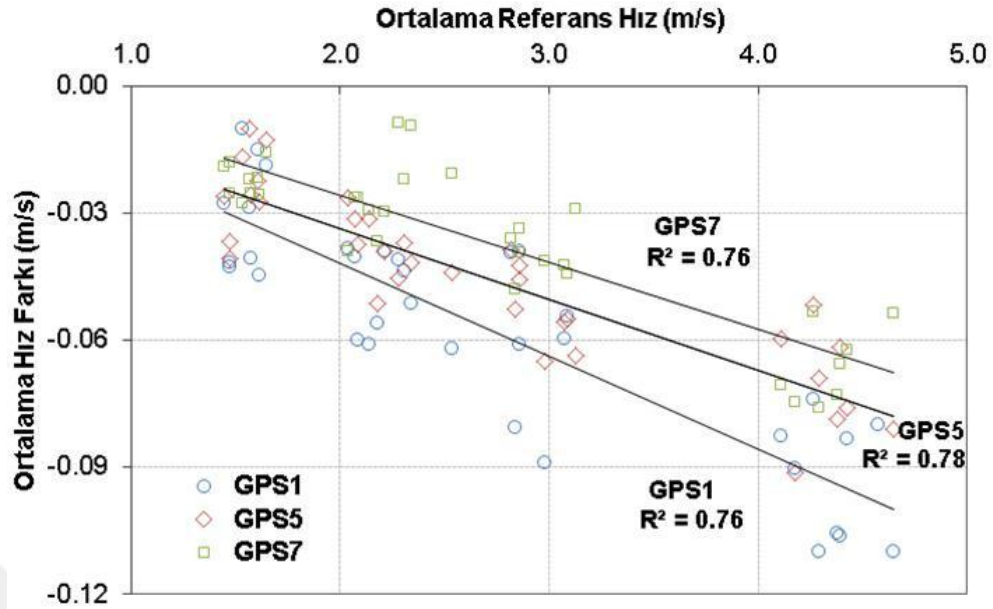
4.1. Sabit Hız Durumunda Hız Farkı Değerleri

Sabit hız (sıfır ivme) durumunda, farklı güncelleme frekansına (1 Hz, 5 Hz, 7 Hz) sahip üç GPS hız sensörüne (GPS1, GPS5, GPS7) ait yer hızı (ilerleme hızı) değerlerinin referans hızdan (optik mil enkoder) olan ortalama hız farkı değerleri hız kademesine (V1, V2, V3, V4) göre Şekil 4.4’de verilmiştir. Hız farkının her üç GPS hız sensörü için de negatif değerli olduğu görülmüştür. Yani GPS hız sensörleri sabit hızda referans hızdan az bir miktarda daha düşük hız değerleri sergilemiştir. Hız farkının yüksek hızlarda (V3, V4) daha yüksek değerde (<0.09 m/s) olduğu, düşük hızlarda (V1, V2) ise daha düşük değerde olduğu (<0.05 m/s) görülmüştür. Ayrıca 5 Hz ve 7 Hz frekansa sahip GPS hız sensörlerinin (GPS5 ve GPS7) hız farkı değerinin 1 Hz frekansa sahip GPS sensörünün (GPS1) hız farkı değerinden daha düşük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.4. Sabit hızda üç farklı GPS hız sensörünün farklı hız kademelerinde ortalama hız farkı değerleri

Çalışmada ayrıca Sabit hız (sıfır ivme) durumunda, farklı güncelleme frekansına sahip (1 Hz, 5 Hz, 7 Hz) üç GPS hız sensörüne (GPS1, GPS5, GPS7) ait yer hızı farkı (hata) değerlerinin referans hız ile (optik mil enkoder) ilişkisi de incelenmiştir. Bu amaçla ortalama referans hız değerleri ile ortalama GPS hız hata değerleri grafik haline getirilerek Şekil 4.5’de verilmiştir. Şekilde verilen her bir veri noktası tekrar edilen 4 ölçümün ortalamasını temsil etmektedir. Her üç GPS hız sensörü için de ortalama hız farkı ile ortalama referans hız değeri arasında önemli düzeyde bir korelasyon olduğu görülmüştür (GPS1 için $R^2=0.76$, GPS5 için $R^2=0.78$, GPS7 için $R^2=0.76$) (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Sabit hızda üç farklı GPS hız sensörünün ortalama hız farkı ile ortalama referans hız arasındaki ilişki

4.2. Artan Hız Durumunda Hız Farkı Değerleri

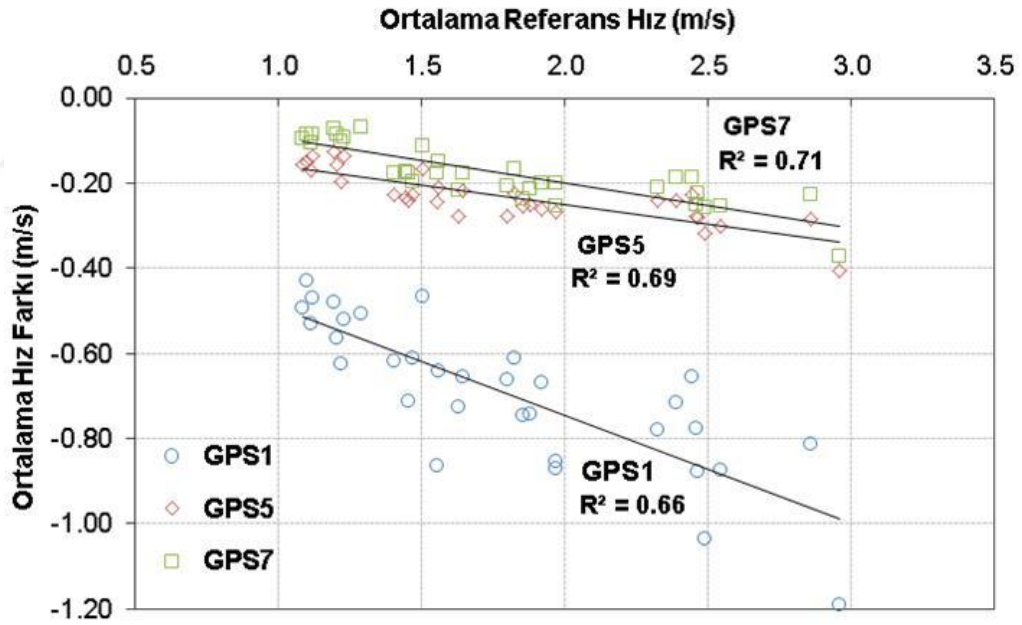
Artan hız (pozitif ivme) durumunda, farklı güncelleme frekansına sahip (1 Hz, 5 Hz, 7 Hz) üç GPS hız sensörüne (GPS1, GPS5, GPS7) ait yer hızı değerlerinin referans hızdan (optik mil enkoderi) olan ortalama hız farkı değerleri ile ortalama referans hız arasındaki ilişki Şekil 4.6’da, ortalama hız farkı değerleri ile ortalama ivme arasındaki ilişki Şekil 4.7’de ve hız kademesine (V1, V2, V3, V4) göre ortalama hız farkı değerleri de Şekil 4.8’de incelenmiştir.

Artan hız (pozitif ivme) durumunda, her üç GPS hız sensörü (GPS1, GPS5, GPS7) için de ortalama hız farkı ile ortalama referans hız arasında önemli düzeyde bir korelasyon olduğu görülmüştür (GPS1 için $R^2=0.66$, GPS5 için $R^2=0.69$, GPS7 için $R^2=0.71$) (Şekil 4.6). Şekilde verilen her bir veri noktası tekrar edilen 4 ölçümün ortalamasını temsil etmektedir. Artan hız durumunda, ortalama referans hız arttıkça ortalama hata değeri de artmaktadır.

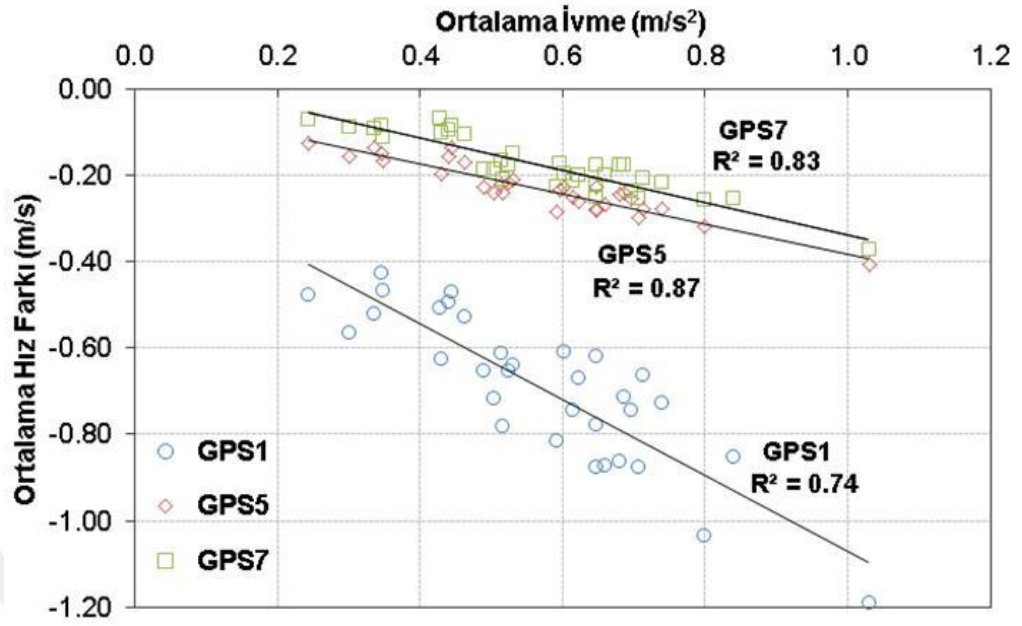
Ayrıca, artan hız (pozitif ivme) durumunda, her üç GPS hız sensörü (GPS1, GPS5, GPS7) için de ortalama hız farkı ile ortalama ivme arasında önemli düzeyde bir korelasyon olduğu görülmüştür (GPS1 için $R^2=0.74$, GPS5 için $R^2=0.87$, GPS7 için

$R^2=0.83$) (Şekil 4.7). Şekilde verilen her bir veri noktası tekrar edilen 4 ölçümün ortalamasını temsil etmektedir. Ortalama referans hız arttıkça ortalama hata değeri de artmaktadır. Büyük ivme değeri, hızın ani değiştiğini göstermektedir ki bu durumda GPS hız sensörlerinden alınan verilerin iletimindeki gecikme sebebiyle hız farkı da fazla olmaktadır.

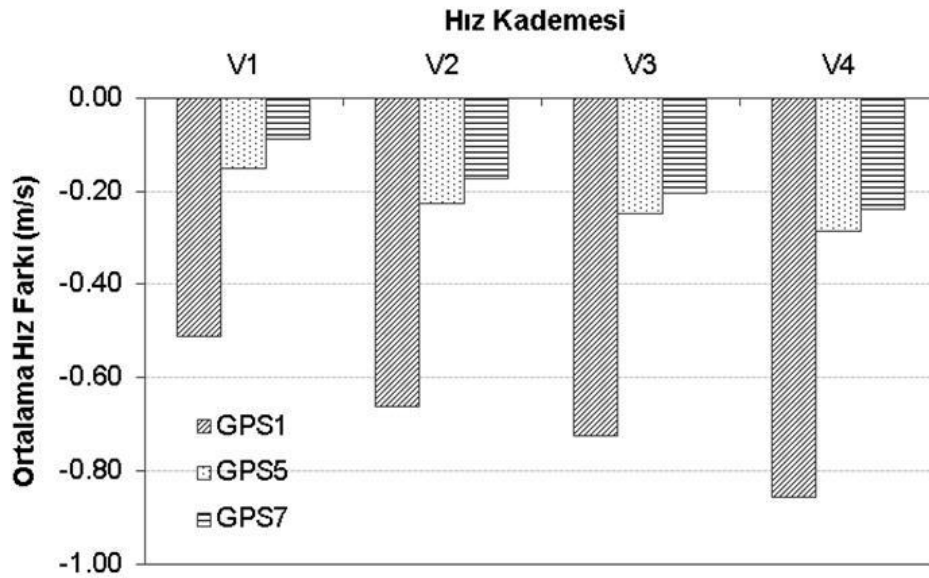
Benzer şekilde, artan hız (pozitif ivme) durumunda farklı güncelleme frekansına (1 Hz, 5 Hz, 7 Hz) sahip üç GPS hız sensörünün (GPS1, GPS5, GPS7) referans hız değerinden daha düşük değerler gösterdiği görülmüştür (Şekil 4.8). Ortalama hız farkı değerinin; yüksek hızlarda (V3, V4) daha yüksek değerde (<0.80 m/s) olduğu, düşük hızlarda (V1, V2) ise daha düşük değerde olduğu (<0.60 m/s) görülmüştür. Ayrıca 5 Hz ve 7 Hz frekansa sahip GPS hız sensörlerinin (GPS5 ve GPS7) ortalama hız farkı değerlerinin 1 Hz frekansa sahip GPS sensörünün (GPS1) ortalama hız farkı değerinden önemli düzeyde daha düşük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.6. Artan hızda üç farklı GPS hız sensörünün ortalama hız farkı ile ortalama referans hız arasındaki ilişki



Şekil 4.7. Artan hızda üç farklı GPS hız sensörünün ortalama hız farkı ile ortalama ivme arasındaki ilişki



Şekil 4.8. Artan hızda üç farklı GPS hız sensörünün ortalama hız farkı ile hız kademesi arasındaki ilişki

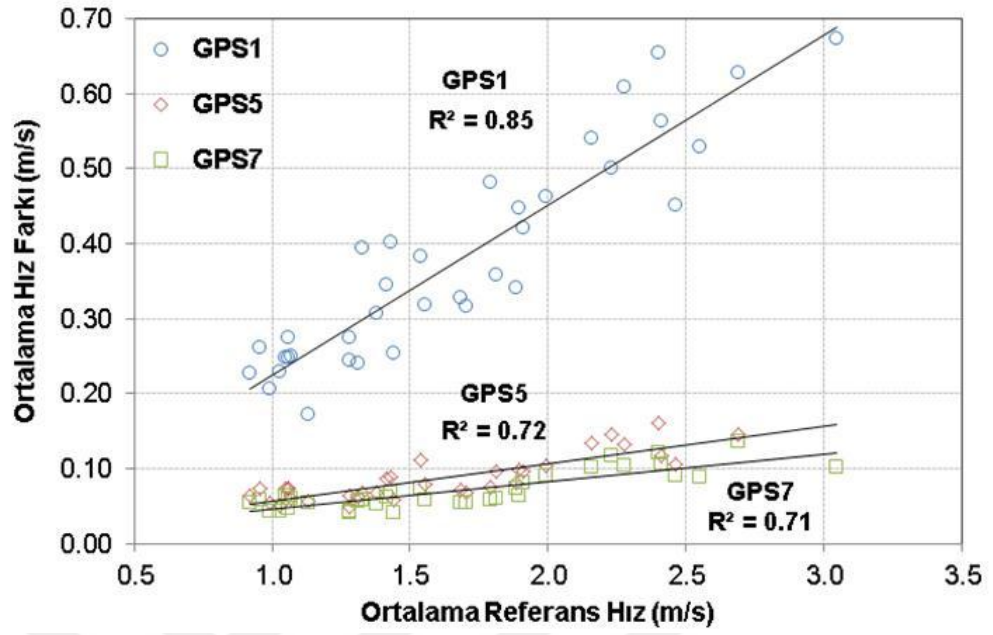
4.3. Azalan Hız Durumunda Hız Farkı Değerleri

Çalışmada azalan hız (negatif ivme) durumunda, farklı güncelleme frekansına sahip (1 Hz, 5 Hz, 7 Hz) üç GPS hız sensörüne (GPS1, GPS5, GPS7) ait yer hızı değerlerinin referans hızdan (optik mil enkoderi) olan ortalama hız farkı değerleri ile ortalama referans hız arasındaki ilişki Şekil 4.9'de, ortalama hız farkı değerleri ile ortalama ivme arasındaki ilişki Şekil 4.10'de ve hız kademesi (V1, V2, V3, V4) ve ortalama hız farkı değerleri de Şekil 4.11'de incelenmiştir.

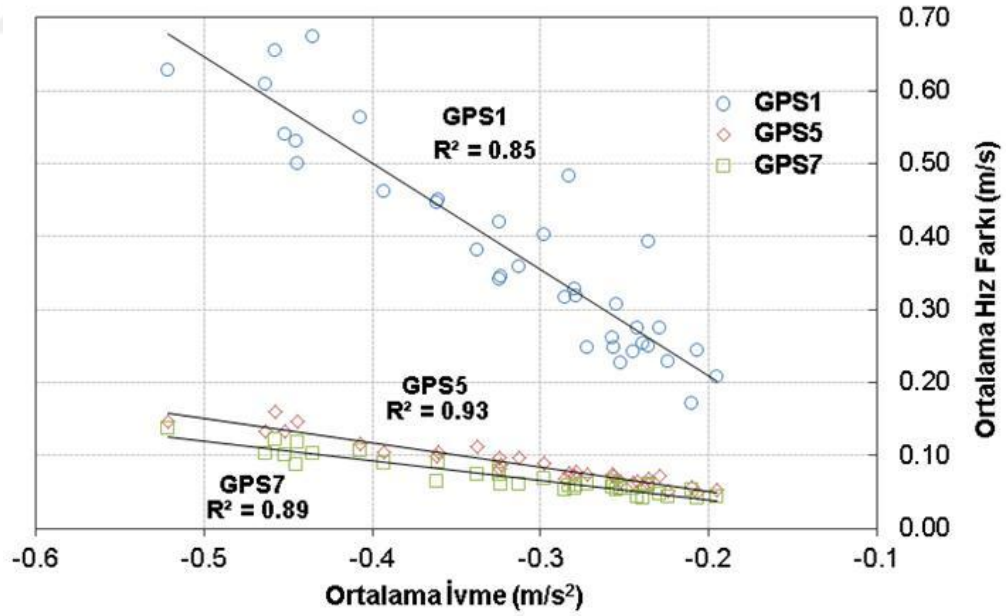
Azalan hız (negatif ivme) durumunda, her üç GPS hız sensörü (GPS1, GPS5, GPS7) için de ortalama hız farkı ile ortalama referans hız arasında önemli düzeyde bir korelasyon olduğu görülmüştür (GPS1 için $R^2=0.85$, GPS5 için $R^2=0.72$, GPS7 için $R^2=0.71$) (Şekil 4.9). Şekilde verilen her bir veri noktası tekrar edilen 4 ölçümün ortalamasını temsil etmektedir. Ortalama ivme arttıkça ortalama hata değeri de artmaktadır.

Ayrıca, azalan hız (negatif ivme) durumunda, her üç GPS hız sensörü (GPS1, GPS5, GPS7) için de ortalama hız farkı ile ortalama ivme arasında önemli düzeyde bir korelasyon olduğu görülmüştür (GPS1 için $R^2=0.85$, GPS5 için $R^2=0.93$, GPS7 için $R^2=0.89$) (Şekil 4.10). Şekilde verilen her bir veri noktası tekrar edilen 4 ölçümün ortalamasını temsil etmektedir. Ortalama ivme arttıkça ortalama hata değeri de artmaktadır. Büyük ivme değeri hızın ani değiştiğini göstermektedir ki bu durumda GPS hız sensörlerinden alınan verilerin iletimindeki gecikme sebebiyle hız farkı da fazla olmaktadır.

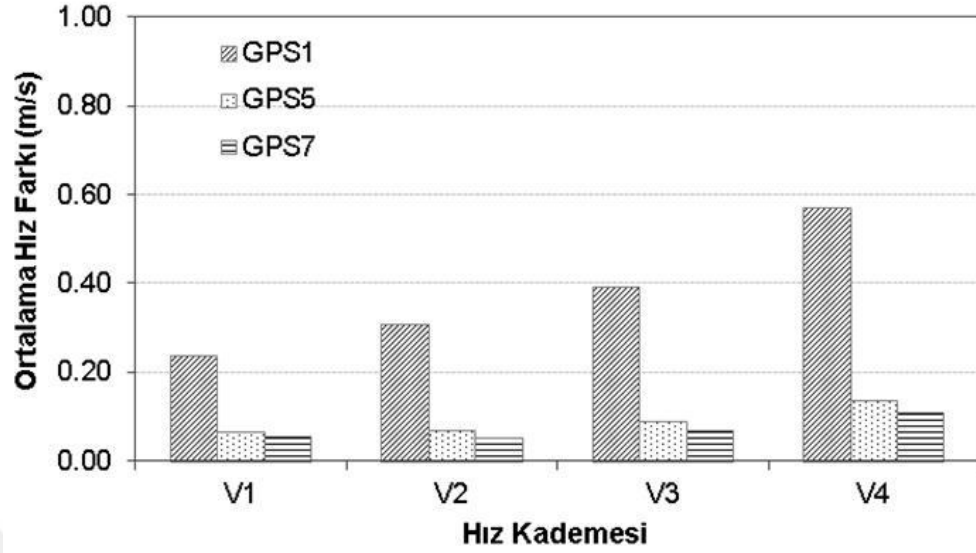
Benzer şekilde, azalan hız (negatif ivme) durumunda farklı güncelleme frekansına (1 Hz, 5 Hz, 7 Hz) sahip üç GPS hız sensörünün (GPS1, GPS5, GPS7) referans hız değerinden daha yüksek değerler gösterdiği görülmüştür (Şekil 4.11). Ortalama hız farkının yüksek hızlarda (V3, V4) daha yüksek değerde (<0.60 m/s) olduğu, düşük hızlarda (V1, V2) ise daha düşük değerde olduğu (<0.30 m/s) görülmüştür. Ayrıca 5 Hz ve 7 Hz frekansa sahip GPS hız sensörlerinin (GPS5 ve GPS7) ortalama hız farkı değerinin 1 Hz frekansa sahip GPS sensörünün (GPS1) ortalama hız farkı değerinden önemli düzeyde daha düşük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.9. Azalan hızda üç farklı GPS hız sensörünün ortalama hız farkı ile ortalama referans hız arasındaki ilişki



Şekil 4.10. Azalan hızda üç farklı GPS hız sensörünün ortalama hız farkı ile ortalama ivme arasındaki ilişki



Şekil 4.11. Azalan hızda üç farklı GPS hız sensörünün ortalama hız farkı ile hız kademesi arasındaki ilişki

Çalışmada denenen farklı güncelleme frekansına sahip GPS hız sensörlerinin (GPS1, GPS5, GPS7) ortalama hız hata değerleri ortalama mutlak hata (m/s) ve ortalama oransal hata (%) olarak hız kademesine (ortalama hız) ve ortalama ivme değerine göre Çizelge 4.1'de verilmiştir. Genel olarak ivme değerlerinin artan hız durumunda azalan hız durumuna göre daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bunun sebebinin traktörün debriyaj ayarı sebebiyle hızlanma durumunda daha çabuk hızlanması ve yavaşlama durumunda daha yavaş yavaşlaması olduğu değerlendirilmiştir. Ortalama ivme değeri yükseldikçe ortalama hata değerinin de arttığı görülmüştür.

Artan hız durumunda 1 Hz güncelleme frekansına sahip GPS hız sensörünün (GPS1) en yüksek ortalama oransal hata değerinin ivmeye bağlı olarak (en yüksek 1.15 m/s^2) en fazla -%46'lara kadar çıktığı görülmüştür. Öte yandan, 5 Hz güncelleme frekansına sahip GPS hız sensörünün (GPS5) ortalama oransal hata değerinin ivmeye bağlı olarak en fazla -%15'lere kadar, 7 Hz güncelleme frekansına sahip GPS hız sensörünün (GPS7) ortalama oransal hata değerinin de ivmeye bağlı olarak en fazla -%11'lere kadar çıktığı görülmüştür.

Sabit hız durumunda 1 Hz güncelleme frekansına sahip GPS hız sensörünün (GPS1) ortalama oransal hata değerinin en fazla -%2.3'e kadar, 5 Hz güncelleme frekansına sahip GPS hız sensörünün (GPS5) ortalama oransal hata değerinin en fazla -%1.8'e kadar ve 7 Hz güncelleme frekansına sahip GPS hız sensörünün (GPS7) ortalama oransal hata değerinin de en fazla -%1.4'e kadar çıktığı görülmüştür.

Azalan hız durumunda ise; 1 Hz güncelleme frekansına sahip GPS hız sensörünün (GPS1) en yüksek ortalama oransal hata değerinin ivmeye bağlı olarak en fazla %23'lere kadar çıktığı görülmüştür. Öte yandan, 5 Hz güncelleme frekansına sahip GPS hız sensörünün (GPS5) ortalama oransal hata değerinin ivmeye bağlı olarak en fazla %6'lara kadar, 7 Hz güncelleme frekansına sahip GPS hız sensörünün (GPS7) ortalama oransal hata değerinin de ivmeye bağlı olarak en fazla %5'lere kadar çıktığı görülmüştür.

Sonuç olarak, hem artan, hem sabit, hem de azalan hız durumunda güncelleme frekansı yüksek olan GPS hız sensörünün ortalama hata değerinin önemli düzeyde daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca, artan ve azalan hız durumunda, sabit hız durumuna kıyasla, GPS hız sensörü güncelleme frekansının yüksek olması hata değerini daha çok azaltmaktadır.

Çizelge 4.1. Üç farklı GPS hız sensörünün ortalama hız ölçümü hata değerleri

İvme Durumu	Hız Kademesi	GPS Hız Sensörü	Ort. İvme	Ort. Hız	Ort. Mutlak Hata	Ort. Oransal Hata
(Artan hız)	1.vites	GPS1	0.38 m/s ²	1.17 m/s	-0.51 m/s	-%42.3
		GPS5			-0.15 m/s	-%12.8
		GPS7			-0.09 m/s	-%7.5
	2.vites	GPS1	0.63 m/s ²	1.50 m/s	-0.66 m/s	-%46.5
		GPS5			-0.23 m/s	-%15.8
		GPS7			-0.17 m/s	-%11.5
	3.vites	GPS1	0.68 m/s ²	1.86 m/s	-0.73 m/s	-%40.3
		GPS5			-0.25 m/s	-%14.4
		GPS7			-0.21 m/s	-%11.4
	4.vites	GPS1	0.66 m/s ²	2.55 m/s	-0.86 m/s	-%34.3
		GPS5			-0.29 m/s	-%11.2
		GPS7			-0.24 m/s	-%9.4
(Sabit hız)	1.vites	GPS1	0 m/s ²	1.55 m/s	-0.03 m/s	-%2.0
		GPS5			-0.02 m/s	-%1.6
		GPS7			-0.02 m/s	-%1.4
	2.vites	GPS1	0 m/s ²	2.18 m/s	-0.05 m/s	-%2.2
		GPS5			-0.04 m/s	-%1.7
		GPS7			-0.03 m/s	-%1.2
	3.vites	GPS1	0 m/s ²	2.91 m/s	-0.06 m/s	-%2.3
		GPS5			-0.05 m/s	-%1.8
		GPS7			-0.04 m/s	-%1.3
	4.vites	GPS1	0 m/s ²	4.36 m/s	-0.09 m/s	-%2.2
		GPS5			-0.07 m/s	-%1.5
		GPS7			-0.07 m/s	-%1.4
(Azalan hız)	1.vites	GPS1	-0.24 m/s ²	1.03 m/s	0.24 m/s	%23.3
		GPS5			0.06 m/s	%6.3
		GPS7			0.05 m/s	%5.3
	2.vites	GPS1	-0.26 m/s ²	1.38 m/s	0.31 m/s	%22.5
		GPS5			0.07 m/s	%5.1
		GPS7			0.05 m/s	%3.9
	3.vites	GPS1	-0.32 m/s ²	1.80 m/s	0.39 m/s	%22.0
		GPS5			0.09 m/s	%5.0
		GPS7			0.07 m/s	%3.8
	4.vites	GPS1	-0.44 m/s ²	2.47 m/s	0.57 m/s	%23.6
		GPS5			0.13 m/s	%5.2
		GPS7			0.11 m/s	%4.4

Witte ve Wilson (2004), hata düzeltme özelliği olmayan (non-differential) bir GPS alıcısının hız ölçme doğruluğunu ve uydu sayısı ve uydu geometrisinin (Dilution of Precision, DOP) hataya etkisini belirlemek için yaptıkları çalışmada; GPS alıcısının sabit hızda doğru değeri gösterdiği ancak hızın aniden değiştiği koşullarda doğru değeri göstermediği bildirilmiştir. GPS hızının; verilerin %45'inde gerçek hızın ± 0.2 m/s, %19'unda ise ± 0.4 m/s değeri içinde olduğu tespit edilmiştir (n=5060).

Al-Gaadi (2005) hız ölçümünde el tipi bir GPS alıcısının (Garmin eTrex Venture) doğruluğunu test ettiği çalışmada, GPS alıcısından elde edilen hızın ortalama hata değerinin 1.27 km/h olduğunu (<7.0), aracın hızının 18.65 km/h'ten 11.19 km/h'e düşmesi durumunda hata değerinin -80.2 olduğunu, sabit hızda ise hata değerinin 1 km/h'ten (<5.3) az olduğu ancak 15 km/h hız durumunda hatanın daha fazla (1.72 km/h; 9.9) olduğunu bildirmiştir. Ancak yapılan çalışmada farklı güncelleme frekansı değerlerinin etkisini incelenmemiştir.

Vishwanathan ve ark. (2017) farklı zemin koşullarında iki adet radar ve bir adet GPS olmak üzere 3 farklı hız algılama sistemini (Dickey John radar, Raven radar, AgExpress GVS GPS) karşılaştırdıkları çalışmada; maksimum hata değerinin, hızlanma durumunda, radar hız sensörleri için 1.61 km/h (1.0 mph) (0.45 m/s), GPS hız sensörü için gecikmeden dolayı 6.44 km/h (4.0 mph) (1.79 m/s) olduğunu tespit etmişlerdir. Çalışmada farklı güncelleme frekansı değerinin etkisini incelememişlerdir.

Koç ve ark. (2006) elle taşınabilen düşük maliyetli bir GPS alıcısını statik ve dinamik durumda test ettiği çalışmada, sabit hız koşulunda GPS alıcısının gösterdiği hızın gerçek hızdan daha düşük değerlerde olduğunu, düşük hız kademesinde GPS cihazının ölçtüğü hız ile gerçek hız arasında 1.21 km/h'lik (0.34 m/s) bir fark olduğunu, en yüksek hız kademesinde ise bu farkın 1.42 km/h (0.39 m/s) ile daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir. Çalışmada hızlanma ve yavaşlama durumundaki hata değerleri ve güncelleme frekansı değerinin etkisi incelenmemiştir.

Supej ve Cuk (2014) sabit ve değişken hız ölçümü amacıyla farklı frekansa (1 Hz, 20 Hz) sahip 5 farklı GNSS alıcısını bir arabanın üstüne monte ederek, sabit hızda, hızlanma ve yavaşlama durumlarında karşılaştırdıkları araştırmada dört ana sonuç bildirmişlerdir. Yüksek frekanslı ve kaliteli GNSS alıcıları araç hız göstergesine kıyasla benzer doğrulukta hız ölçümü yapmıştır. Bütün sistemler sabit hızda iyi sonuçlar göstermiş ancak hızlanma ve yavaşlamada farklı hızlarda farklı hata seviyeleri tespit

etmişlerdir. Frekansı 1 Hz olan düşük maliyetli alıcıların gecikme süresi yüksek (<2.16 s) olduğundan gerçek hız ölçümlerinde kullanımının uygun olmadığını bildirmişlerdir.

4.4. İstatistiksel Analiz

Çalışmada, farklı güncelleme frekansına sahip GPS hız sensörlerinin (GPS1, GPS5, GPS7) hız ölçümü hata değerleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olup olmadığını ve farklı gün, farklı zaman (sabah, öğle, akşam), farklı ivme ve farklı hız kademelerinin etkili olup olmadığını incelemek için istatistiksel analiz de yapılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir. Analizde, ivme değerleri düşük, orta ve yüksek olarak üç sınıfta incelenmiştir.

Artan hız (pozitif ivme) durumunda, ölçüm yapılan günler ve zamanların etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu ($p>0.05$) ancak ivme ve hız kademelerinin etkisinin önemli olduğu ($p<0.05$) tespit edilmiştir. Ortalama hata değerlerinin her üç GPS hız sensörü için de yüksek ivme sınıfında daha yüksek değerde olduğu görülmüştür.

Sabit hız (sıfır ivme) durumunda, ölçüm yapılan günler, zamanlar ve hız kademelerinin etkisinin önemsiz olduğu ($p>0.05$) tespit edilmiştir. Ortalama hata değerleri GPS1 için -2.2% , GPS5 için -1.7% ve GPS7 için -1.3% olarak bulunmuştur.

Azalan hız (negatif ivme) durumunda, ölçüm yapılan günler ve zamanların ve aynı zamanda ivme ve hız kademelerinin etkisinin istatistiksel olarak önemsiz olduğu ($p>0.05$) tespit edilmiştir. İvme ve hız kademelerinin ortalama oransal hız ölçüm hatası üzerine etkisinin; artan hızlarda önemli iken, azalan hızlarda önemsiz olmasının sebebi, azalan hızda ivme değerlerinin ($0.15-0.55 \text{ m/s}^2$) artan hızlardaki ivme değerlerinden daha düşük olması ($0.15-1.15 \text{ m/s}^2$) olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca, azalan hız durumundaki ivme değerleri daha düşük olduğundan ve hata değeri düşük ivmede daha düşük olduğundan, azalan hız durumundaki ortalama oransal hata değerleri ($10.5\%-11.4\%$) artan hızdakilere ($19.6\%-25.1\%$) kıyasla daha düşük değerde bulunmuştur.

Özet olarak, hem artan, hem sabit, hem de azalan hız durumunda, 1 Hz, 5 Hz ve 7 Hz frekansa sahip GPS hız sensörlerinin hata değerleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu ($p<0.05$) tespit edilmiştir. Yüksek güncelleme frekansına sahip GPS hız sensörleri ile yapılan hız ölçümündeki oransal hata değerlerinin düşük güncelleme frekansına sahip olanlara kıyasla hem artan, hem sabit hem de azalan hız durumunda istatistiksel olarak önemli miktarda daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.2. Üç farklı GPS hız sensörünün istatistiksel karşılaştırması

İvme Durumu	İvme Sınıfı	GPS Hız Sensörü	Ort. Oransal Hata ^{1,2}
= + (Artan hız)	Düşük ivme (0.15-0.50 m/s ²)	GPS1	-%39.0 ^a
		GPS5	-%12.1 ^b
		GPS7	-%7.6 ^c
		Ortalama	-%19.6 ^A
	Orta ivme (0.51-0.75 m/s ²)	GPS1	-%40.2 ^a
		GPS5	-%13.5 ^b
		GPS7	-%10.8 ^c
		Ortalama	-%21.5 ^A
	Yüksek ivme (0.76-1.15 m/s ²)	GPS1	-%46.5 ^a
		GPS5	-%16.4 ^b
		GPS7	-%12.4 ^c
		Ortalama	-%25.1 ^B
a = 0 (Sabit hız)	GPS1	GPS1	-%2.2 ^a
	GPS5	GPS5	-%1.7 ^b
	GPS7	GPS7	-%1.3 ^c
a = + (Azalan hız)	Düşük ivme (0.15-0.30 m/s ²)	GPS1	%22.6 ^a
		GPS5	%5.7 ^b
		GPS7	%4.6 ^c
		Ortalama	%10.9 ^A
	Orta ivme (0.31-0.40 m/s ²)	GPS1	%22.3 ^a
		GPS5	%5.2 ^b
		GPS7	%4.0 ^c
		Ortalama	%10.5 ^A
	Yüksek ivme (0.40-0.55 m/s ²)	GPS1	%24.4 ^a
		GPS5	%5.3 ^b
		GPS7	%4.6 ^c
		Ortalama	%11.4 ^A

¹Farklı harfler, aradaki farkın istatistiki olarak önemli olduğunu gösterir (p<0.05).

²Küçük harfler (a, b, c) GPS sensörlerinin, büyük harfler (A, B, C) ivme sınıflarının ortalama oransal hata üzerindeki etkisini gösterir (p<0.05).

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada son yıllarda ticari olarak piyasada mevcut olan, hız ölçümünde kullanılan farklı güncelleme frekansına (1 Hz, 5 Hz, 7 Hz) sahip düşük maliyetli üç adet GPS hız sensörünün artan hız, sabit hız ve azalan hız durumunda yer hızı (ilerleme hızı) ölçümündeki performansı kıyaslanmıştır.

Çalışmada yüksek güncelleme frekansına sahip GPS hız sensörlerinin (5 Hz ve 7 Hz) düşük frekansa sahip GPS hız sensörüne (1 Hz) kıyasla referans hıza daha yakın değerler verdiği görülmüştür. Artan hız durumunda, GPS hız sensörleri veri iletimindeki gecikme sebebiyle referans hıza göre daha düşük değerler verirken, sabit hızda hız değerleri birbirine yakın olup, azalan hız durumunda GPS hız sensörlerinin referans hızdan daha yüksek değerler verdiği görülmüştür.

Çalışmada farklı güncelleme frekansına sahip (1 Hz, 5 Hz, 7 Hz) üç GPS hız sensörüne (GPS1, GPS5, GPS7) ait yer hızı değerlerinin referans hızdan (optik mil enkoder) olan farkı ile ivme arasındaki ilişki de incelenmiştir. Hem artan hız (pozitif ivme), hem de azalan hız (negatif ivme) durumunda, hız farkı ile ivme arasında önemli düzeyde bir korelasyon olduğu görülmüştür ($R^2 > 0.70$). Büyük ivme değeri hızın ani değiştiğini göstermektedir ki bu durumda GPS hız sensörlerinden alınan verilerin iletimindeki gecikme sebebiyle hız farkı da fazla olmaktadır.

Sabit hız (sıfır ivme) durumunda hız farkının her üç GPS hız sensörü için de yüksek hızlarda daha yüksek değerde (< 0.09 m/s), düşük hızlarda ise daha düşük değerde olduğu (< 0.05 m/s) görülmüştür. Ayrıca 5 Hz ve 7 Hz frekansa sahip GPS hız sensörlerinin (GPS5 ve GPS7) hız farkının 1 Hz frekansa sahip GPS sensörüne (GPS1) kıyasla daha düşük olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, güncelleme frekansı GPS hız sensörleri ile hız ölçümünde önemli bir parametredir. Hem artan, hem sabit, hem de azalan hız durumunda, 1 Hz, 5 Hz ve 7 Hz frekansa sahip GPS hız sensörlerinin hata değerleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu ($p < 0.05$) tespit edilmiştir. Yüksek veri güncelleme frekansına sahip GPS hız sensörleri, artan hız, sabit hız ve azalan hız durumunda hız değerini düşük frekansa sahip GPS hız sensöründen daha doğru bir şekilde ölçebilmektedir. Bu sebeple özellikle hızın anlık olarak değiştiği durumlarda hız ölçümünde yüksek güncelleme frekansına sahip GPS hız sensörlerinin kullanımı önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Anonim, 2018. GPS Speed Sensors. www.sensor-1.com (Erişim Tarihi: 03.10.2018).
- Adamchuk, V.I., 2001. EC01-157 Precision Agriculture: Untangling the GPS Data String. Untangling the GPS Data String. University of Nebraska Cooperative Extension EC 01-157. 5.
- Al-Gaadi, K.A., 2005. Testing the accuracy of autonomous GPS in ground speed measurement. **Journal of Applied Sciences**, 5(9): 1518-1522.
- Akita, M., Tamura, T., Yamashita, R., Watanabe, M., Inaba, T., Tsubota, H., Asano, A., 2015. Estimations for train speed based on two-frequency CW and initial experiments on railway environments. **IEICE Communications** 4(6): 192-197.
- Clark, R.L., Adsit, A.H., 1985. Microcomputer based instrumentation system to measure tractor field performance. **Trans. ASAE** 28, 393–396.
- Chalko, T.J., 2007. High accuracy speed measurement using GPS (Global Positioning System). www.nujournal.net/HighAccuracySpeed.pdf. (Erişim Tarihi: 18.09.2018).
- Chalko, T.J., 2009. Estimating accuracy of GPS doppler speed measurement using Speed Dilution of Precision (SDOP) parameter. www.nujournal.net/SDOP.pdf. (Erişim Tarihi: 18.09.2018).
- Cosentino, R.J., Diggle, D.W., Haag, M.U., Hegarty, C.J, Milbert, D., Nagle, J., 2006. Differential GPS (Chapter 8). **Understanding GPS: Principles and Applications**, Second Edition. Artech House, Inc., Norwood, MA 02062, USA.
- Czajewski, W., Iwanowski, M., 2010. Vision-Based vehicle speed measurement method. Computer Vision and Graphics - International Conference, Part I, LNCS 6374, Editors: L. Bolc et al., pp.308–315.
- Doğan, S., Temiz, M.S., Külür, S., 2010. Real time speed estimation of moving vehicles from side view images from an uncalibrated video camera. **Sensors** (10): 4805-4824.
- Dyukov, A., 2016. Development of an Electronic Speed Measurement System for Evaluating the Accuracy of GNSS Receivers and Statistical Analysis of Their Performance in Speed Measurements. **Universal Journal of Electrical and Electronic Eng.** 4(2): 33-50.
- Gaglione, S., 2015. How does a GNSS receiver estimate velocity? **InsideGNSS**, March/April. s.38-41.
- Grevis-James, I.W., Bloome, P.D., 1982. A tractor power monitor. **Transactions of the ASAE**. 25, 595–597.
- Imou, K., Ishida, M., Okamoto, T., Kaizu, Y., Sawamura, A., Sumida, N., 2001. Ultrasonic doppler sensor for measuring vehicle speed in forward and reverse motions including low speed motions. **Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development**. 01 007.(3):
- Jeffrey, C., 2010. **An Introduction to GNSS: GPS, GLONASS, Galileo and other Global Navigation Satellite Systems**. First Edition. NovAtel Inc., 86 s, Canada.
- Keskin, M., Say, S.M., 2006. Feasibility of low-cost GPS receivers for ground speed measurement. **Computers and Electronics in Agriculture** 1.(54): 36–43.

- Keskin, M., Say, S.M., Görücü Keskin, S., 2009. Evaluation of a low-cost gps receiver for precision agriculture use in Adana province of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 33 (1) 79–88.
- Keskin, M., Görücü Keskin, S., 2012. **Hassas Tarım Teknolojileri**. Mustafa Kemal Üniversitesi Yayınları, 35, 212 s, Hatay.
- Keskin M., 2013. Hassas tarım teknolojilerinin adaptasyonunu etkileyen faktörler ve bu teknolojilerin dünyadaki kullanım durumu. **Tarım Makinaları Bilimi Dergisi** 9(4):263-272.
- Keskin, M., Sekerli, Y.E., Say, S.M., Sehri, M., 2017a. Yield Estimation Methods Before and After Harvest in Citrus Groves (Turunçgillerde Hasat Öncesi ve Sonrası Verim Tahmin Yöntemleri). 2nd Int. Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2017), Cukurova University, 25-27 October 2017, Adana, Turkey, pp.1990-1997.
- Keskin, M., Sekerli, Y.E., Kahraman, S., 2017b. Performance of two low-cost GPS receivers for ground speed measurement under varying speed conditions. **Precision Agriculture**, 18(2):264-277.
- Keskin, M., 2018. Küresel Konum Belirleme Sistemleri. Lisansüstü ders notları. Mustafa Kemal Üniversitesi Biyosistem Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Khalilian, A., Hale, S.A., Hood, C.H., Garner, T.H., Dodd, R.B., 1989. Comparison of four ground speed measurement techniques. **ASAE**, St. Joseph, MI, Paper No. 89-1040
- Koç, A.B., Koc, C., Yurtlu, Y.B, and Vatandas, M., 2006. Static and dynamic tests of a low-cost GPS receiver. 23rd National Mechanization Congress. 6-8 September 2006. Canakkale, Turkey. p.277-282.
- Le Faucheur, A. P., Abraham, V., Jaquinandi, P., Bouye, J., Saumet, L., Noury-Desvaux, B., 2007. Study of human outdoor walking with a low-cost gps and simple spreadsheet analysis. **Med. Sci. Sports Exerc.**, 39(9): 1570–1578.
- Morgan, M., Ess, D., 2003. The precision farming guide for agriculturists. Second edition. **John Deere Publishing**, Moline, Illinois, USA.
- Nishiwaki, K., Togashi, T., Amaha, K., 2002. Vision-based speed and yaw angle measurement system. Proceedings of the Automation Technology for Off-Road Equipment Conference. 26-27 July 2002 Conference, Chicago, Illinois, USA. pp. 212-220.
- Richardson, N.A., Lanning, R.L., Kopp, K.A., Carnegie, E.J., 1982. True ground speed measurement techniques. **SAE Paper No. 821058**, SAE, Warrendale, PA.
- Sathyamorthy, D., Shafii, S., Amin, Z.A.F, Jusoh, A., Ali, Z.S., 2015. Evaluation of the accuracy of global positioning system (GPS) speed measurement via GPS simulation. **Defence S and T Technical Bulletin**. November 2015. s.121-128.
- Say, S.M., Keskin, M., Sehri, M., Sekerli, Y.E., 2017. Adoption of precision agriculture technologies in developed and developing countries. International Science and Technology Conference, 17-19 July 2017 Berlin, Germany. pp.41-49.
- Schubert, R., Heide, P., Mágori, V., 1995. Microwave doppler sensors measuring vehicle speed and travelled distance: realistic system tests in railroad environment. **MIOP 95**, Stuttgart-Sindelfingen, 30.05-01.06.1995. 5 sayfa.
- Shannon, K., Brumett, J., Ellis, C., Hoette, G., 2001. Can a \$300 GPS receiver be used for yield mapping? **ASAE Paper No. 01-1154**, ASAE, St.Joseph, MI.

- Shannon, K., Ellis, C., Hoette, G., 2002. Performance of low-cost GPS receivers for yield mapping. **ASAE** Paper No. 02-1151, ASAE, St. Joseph, MI.
- Summers, J.D., Batchelder, D.G., Lambert, B.W., 1986. Second generation tractor performance monitor. **Appl. Eng. Agric.** 2, 30–32.
- Supej, M., Cuk I., 2014. Comparison of Global Navigation Satellite System Devices on Speed Tracking in Road (Tran)SPORT Applications. **Sensors**. 14, 23490-23508.
- Tompkins, F.D., Hart, W.E., Freeland, R.S., Wilkerson, J.B., Wilhelm, L.R., 1988. Comparison of tractor ground speed measurement techniques. **Trans. ASAE** 31, 369–374.
- Townshend, A.D., Worringham, C.J., Stewart, I.B., 2007. Assessment of speed and position during human locomotion using nondifferential GPS. **Med. Sci. Sports Exerc.**, 40(1): 124–132.
- Vishwanathan, R., Weckler, P.R., Solie, J.B., Stone, M.L., 2017. Evaluation of ground speed sensing devices under varying ground surface conditions. ASAE Annual International Meeting. Paper No: 051087. 17-20 July 2005. Tampa, Florida.
- Witte, T.H., Wilson, A.M., 2004. Accuracy of non-differential GPS for the determination of speed over ground. **Journal of Biomechanics** 37: 1891–1898.
- Zhang, J., Zhang, K., Grenfell, R., 2004. On the relativistic Doppler Effects and high accuracy velocity determination using GPS. Presented at the 2004 International Symposium on GNSS/GPS. 6–8 December 2004, Sydney, Australia.

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa AKKAMIŞ 1988 yılında Mersin’de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Mersin’de tamamladı. 2010-2014 yılları arasında Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Bölümü’nde lisans eğitimini tamamladı. 2014 yılı Eylül ayında Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı ve halen yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.

