



T.C.



İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA

ADLİ TIP VE ADLİ BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

Danışman

Prof. Dr. Faruk Aşıcıoğlu

DİJİTAL OLARAK ALINAN İMZALARIN BELGE İNCELEME AÇISINDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ

FEN BİLİMLERİ ANABİLİM DALI

DOKTORA TEZİ

AYŞEGÜL ŞEN YILMAZ

İSTANBUL, 2024

FDK-2021-35726 kodlu proje ile destekleyerek araştırmada kullanılan donanımları almamızı sağlayan İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkürlerimi sunarım.

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimimde ve tez sürecimde desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübesini her zaman benimle paylaşan ve akademik kariyerimde ilerlememde bana rehber olan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Faruk Aşıcıoğlu'na, tez süreci boyunca emeğini, deneyimlerini, bilgi birikimini ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Ali Gelir'e, tez sürecimde ve çalışma hayatımda her zaman desteğini hissettiğim Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Okudan'a, istatistik konusunda bilgi birikimi ile destek olan Dr. Öğr. Üyesi Nurten Dayıoğlu'na ve tez çalışmam için değerli vakitlerini ayırıp gönüllü olarak bıkmadan örnek veren İstanbul Jandarma Kriminal Laboratuvarındaki arkadaşlarıma, İstanbul Teknik Üniversitesi'nde ve İ.Ü.-Cerrahpaşa, Adli Tıp ve Adli Bilimler Enstitüsü'nde görevli arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

I would like to thank to AnaSoft company for providing three separate software solutions which were very significant for my thesis. I would also like to thank Andrej Ukrop and Marek Ilkovič for providing wonderful support for the software solutions whenever I needed.

Ayrıca, doktora dönemim boyunca göstermiş olduğu anlayış ve destek için eşim Recep Yılmaz'a,

Hayatımın her aşamasında maddi ve manevi olarak her zaman beni destekleyen ve yanımda olan ablam Ömür Şen'e,

Tüm bu süreçte her daim yanımda olan babama ve özellikle beni akademik kariyerim için yüreklendiren, sevgi ve güç veren anneme,

Bu tezin hazırlanmasında emeği geçen herkese,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım...

Ayşegül ŞEN YILMAZ

Ocak, 2024

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
DENKLEMLER LİSTESİ	xv
KISALTMALAR LİSTESİ	xvi
ÖZET.....	1
ABSTRACT	3
1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	5
2. GENEL BİLGİLER.....	7
2.1. El Yazısı / İmza.....	7
2.1.1. İmza taklitleri	10
2.1.1.1. İmza taklit türleri	10
2.2. Dijital Olarak Alınan İmzalar (DCS-Digitally Captured Signatures).....	12
2.2.1. Dijital olarak imzaların alınmasında kullanılan donanımlar	14
2.2.1.1. Dokunmatik ekran sistemleri.....	14
2.2.1.2. Stylus kalemler	18
2.2.1.3. Pixel kavramı ve görüntüleme sistemleri	20
2.2.2. Dijital olarak imzaların alınmasında kullanılan yazılımlar	23
2.2.3. Dijital olarak alınan imzaların hukuki boyutu.....	26
2.2.4. Dijital olarak alınan imzaların Adli Belge İnceleme açısından değerlendirilmesi	28
3. GEREÇ VE YÖNTEM	32
3.1. İmza Örneklerinin Alınmasında Kullanılan Donanımlar	34

3.2. <i>İmza Örneklerinin Alımında ve Analizinde Kullanılan Yazılımlar</i>	35
3.2.1. İmza örneklerinin alınmasında kullanılan yazılım	36
3.2.2. İmza örneklerinin deşifre edilmesinde kullanılan yazılım	37
3.2.3. İmza örneklerinin biyometrik verilerinin edilmesinde kullanılan yazılım	39
3.3. VERİLERİN ANALİZİ	45
3.3.1. Kişilerin 1, 3, 6 ve 12+ aylık periyotlarda alınan imza örneklerinin analizi	47
3.3.1.1. Kişilerin 1, 3, 6 ve 12+ aylık periyotlarda alınan imza verilerinin istatistiksel analizi	47
3.3.2. Farklı tersime sahip imzaların taklitlerinin analizi	48
3.3.2.1. Farklı tersime sahip imzaların taklitlerinin istatistiksel analizi	49
3.3.2.2. Taklitçilerin bireysel değerlendirilmesi	49
3.4. <i>Sylus Kalem Uçlarının Kuvvet Normalizasyonu Ölçümleri</i>	49
4. BULGULAR	52
4.1. <i>Kişilerin 1, 3, 6 ve 12+ Aylık Periyotlarda Alınan İmza Örnekleri</i>	52
4.1.1. Kişilerin 1, 3, 6 ve 12+ aylık periyotlarda alınan imza verilerinin ANOVA testi ile karşılaştırılması	60
4.1.2. Her bir katılımcının imza verilerinin 12+ aylık süre içerisindeki değişimleri	62
4.1.3. Kadın ve erkek katılımcıların cinsiyet açısından verilerinin karşılaştırılması	75
4.1.4. Kadın ve erkek katılımcıların cinsiyet açısından verilerinin Mann Withney testi ile karşılaştırılması	80
4.2. <i>Farklı Tersime Sahip İmzaların Taklitlerinin Karşılaştırılması</i>	83
4.2.1. Basit düzey tersime sahip orijinal imzanın taklitleri ile karşılaştırılması	83
4.2.1.1. Basit düzey tersime sahip imzanın taklitçilerinin cinsiyet açısından karşılaştırılması	86
4.2.2. Orta düzey tersime sahip orijinal imzanın taklitleri ile karşılaştırılması	88

4.2.1.1. Orta düzey tersime sahip imzanın taklitçilerinin cinsiyet açısından karşılaştırılması.....	90
4.2.3. Orta düzey tersime sahip yavaş atılan orijinal imzanın taklitleri ile karşılaştırılması	92
4.2.3.1. Orta düzey tersime sahip yavaş atılan imzanın taklitçilerinin cinsiyet açısından karşılaştırılması.....	95
4.2.4. Zor düzeyde tersime sahip orijinal imzanın taklitleri ile karşılaştırılması	98
4.2.4.1. Zor düzeyde tersime sahip imzanın taklitçilerinin cinsiyet açısından karşılaştırılması.....	100
4.2.5. Taklitçilerin bireysel değerlendirilmesi	102
4.2.5.1. Bir Numaralı Taklitçin Kendi Orijinal İmza Verileri İle Taklit İmzalarının Karşılaştırılması.....	103
.....	103
4.2.5.2. İki Numaralı Taklitçin Kendi Orijinal İmza Verileri İle Taklit İmzalarının Karşılaştırılması.....	104
4.2.5.3. Üç Numaralı Taklitçin Kendi Orijinal İmza Verileri İle Taklit İmzalarının Karşılaştırılması.....	105
4.2.5.4. Dört Numaralı Taklitçin Kendi Orijinal İmza Verileri İle Taklit İmzalarının Karşılaştırılması.....	106
4.2.5.5. Beş Numaralı Taklitçin Kendi Orijinal İmza Verileri İle Taklit İmzalarının Karşılaştırılması.....	107
4.2.5.6. Altı Numaralı Taklitçin Kendi Orijinal İmza Verileri İle Taklit İmzalarının Karşılaştırılması.....	108
4.2.5.7. Yedi Numaralı Taklitçin Kendi Orijinal İmza Verileri İle Taklit İmzalarının Karşılaştırılması.....	109

4.2.5.8. Sekiz Numaralı Taklitçin Kendi Orijinal İmza Verileri İle Taklit İmzalarının Karşılaştırılması.....	110
4.2.5.9. Dokuz Numaralı Taklitçin Kendi Orijinal İmza Verileri İle Taklit İmzalarının Karşılaştırılması	111
4.2.5.10. On Numaralı Taklitçin Kendi Orijinal İmza Verileri İle Taklit İmzalarının Karşılaştırılması.....	112
4.2.6. Farklı Tersime Sahip İmzaların Taklitçilerinin Kendi İmza Verileri ile Taklit İmza Verilerinin Karşılaştırılması	113
4.3. <i>Stylus Kalem Uçlarının Kuvvet Normalizasyon Ölçümleri</i>	116
5. TARTIŞMA.....	122
6.SONUÇ	129
ÖZGEÇMİŞ.....	142

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo I. Analyzer programı aracılığı ile imza görseli dışında elde edilen 19 farklı biyometrik veri ve bu verilerin Türkçe tanımlamaları.....	40
Tablo II. ANOVA analizi ile katılımcılardan alınan imza örneklerinin “Average Speed”, “Average Speed in Contact” ve “Average Pressure in Contact” verilerinin aylara göre mukayesi.	60
Tablo III. ANOVA analizi ile katılımcılardan alınan imza örneklerinin “Total Time of Writing in Contact”, “Total Time of Writing Out of Contact (ms)”, “Line Length in Contact (mm)”, “Line Length Out of Contact (mm)” and “H/W Ratio” verilerinin aylara göre mukayesi.	61
Tablo IV. Tüm Kadın ve Erkek Katılımcıların Dinamik Verilerinin Ortalama ve Standart Sapma Değerleri.....	79
Tablo V. Kadın ve erkek katılımcıların imza “Average Speed”, “Average Speed in Contact”, “Average Pressure in Contact” ve “Total Time of Writing in Contact” verileri açısından karşılaştırılması.	81
Tablo VI. Kadın ve erkek katılımcıların imza verilerinin “Total Time of Writing Out of Contact (ms)”, “Line Length in Contact (mm)”, “Line Length Out of Contact (mm)” and “H/W Ratio” verileri açısından karşılaştırılması.....	82
Tablo VII. Bakarak ve Serbest taklit imza örneklerinin “Number of Points”, “Average Speed”, “Average Speed in Contact” ve “Average Pressure in Contact”, “Total Time of Writing in Contact” ve “Total Time of Writing out of Contact” açısından karşılaştırılması.....	84
Tablo VIII. Orijinal ve taklit imza örneklerinin “Line Length in Contact”, “Line Length out of Contact”, “H/W”, “Acceleration” ve “Jerk” verileri açısından karşılaştırılması.	85
Tablo IX Kadın ve erkek taklitçilerin imza örneklerinin “Number of Points”, “Average Speed”, “Average Speed in Contact” ve “Average Pressure in Contact” , “Total Time of Writing in Contact” ve “Total Time of Writing out of Contact” verilerinin karşılaştırılması.	86

Tablo X. Kadın ve erkek taklitçilerin örneklerinin “Line Length in Contact”, “Line Length out of Contact”, “H/W” ve “Acceleration” ve “Jerk” verileri açısından karşılaştırılması.	87
Tablo XI. Bakarak ve Serbest taklit imza örneklerinin “Number of Points”, “Average Speed”, “Average Speed in Contact” ve “Average Pressure in Contact”, “Total Time of Writing in Contact” ve “Total Time of Writing out of Contact” verilerinin karşılaştırılması	88
Tablo XII. Bakarak ve Serbest taklit imza örneklerinin “Line Length in Contact”, “Line Length out of Contact”, “H/W” , “Acceleration” ve “Jerk” verileri açısından karşılaştırılması.....	89
Tablo XIII. Kadın ve erkek taklitçilerin “Number of Points”, “Average Speed”, “Average Speed in Contact” ve “Average Pressure in Contact”, “Total Time of Writing in Contact” ve “Total Time of Writing out of Contact” verilerinin karşılaştırılması.....	91
Tablo XIV. Kadın ve erkek taklitçilerin Mann Whitney U testi ile Bakarak ve Serbest taklit imza örneklerinin “Line Length in Contact”, “Line Length out of Contact”, “H/W” ve “Acceleration” ve “Jerk” verileri açısından karşılaştırılması.....	92
Tablo XV. Orijinal ve taklit imza örneklerinin “Number of Points”, “Average Speed”, “Average Speed in Contact” ve “Average Pressure in Contact”, “Total Time of Writing in Contact” ve “Total Time of Writing out of Contact” verileri açısından karşılaştırılması.	93
Tablo XVI. Orijinal ve taklit imza örneklerinin “Number of Points”, “Average Speed”, “Average Speed in Contact” ve “Average Pressure in Contact”, “Total Time of Writing in Contact” ve “Total Time of Writing out of Contact” verileri açısından karşılaştırılması.	94
Tablo XVII. Kadın ve erkek taklitçilerin imza örneklerinin “Number of Points”, “Average Speed”, “Average Speed in Contact” ve “Average Pressure in Contact”, “Total Time of Writing in Contact” ve “Total Time of Writing out of Contact” verilerinin karşılaştırılması.	96
Tablo XVIII. Kadın ve erkek taklitçilerin Mann Whitney U testi ile Bakarak ve Serbest taklit imza örneklerinin “Line Length in Contact”, “Line Length out of Contact”, “H/W” ve “Acceleration” ve “Jerk” verileri açısından karşılaştırılması.....	97

Tablo XIX. Orijinal ve taklit imza örneklerinin “Number of Points”, “Average Speed”, “Average Speed in Contact” ve “Average Pressure in Contact”, “Total Time of Writing in Contact” ve “Total Time of Writing out of Contact” verileri açısından karşılaştırılması.	98
Tablo XX. Orijinal ve taklit imza örneklerinin “Line Length in Contact”, “Line Length out of Contact”, “H/W”, “Acceleration” ve “Jerk” verileri açısından karşılaştırılması.	99
Tablo XXI. Kadın ve erkek taklitçilerin “Number of Points”, “Average Speed”, “Average Speed in Contact” ve “Average Pressure in Contact”, “Total Time of Writing in Contact” ve “Total Time of Writing out of Contact” verileri açısından karşılaştırılması.	100
Tablo XXII. Kadın ve erkek taklitçilerin imza örneklerinin “Line Length in Contact”, “Line Length out of Contact”, “H/W” ve “Acceleration” ve “Jerk” verileri açısından karşılaştırılması.	101
Tablo XXIII. Taklitçilerin kendi orijinal verileri ile taklit ettik ederken oluşturdukları imzaların karşılaştırma tablosu.....	113

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Kişinin farklı zamanlarda attığı imzanın tersimindeki varyasyon	8
Şekil 2. Bakarak taklit sureti ile yapılan sahteciliklerde taklitçi orijinal imza örneğini karşısına alarak imzanın tersimini taklit eder	11
Şekil 3. Karşılıklı sıralanmış Rx, alıcı elektrot ve Tx iletici elektrot matrisi dokunma sensörünü oluşturur	17
Şekil 4. Rx, alıcı elektrod ve Tx iletici elektrotlar karşılıklı kapasitans elektrodları olup ekran yüzeyine entegre haldedir.....	17
Şekil 5. Çalışma prensibine göre stylus kalem çeşitleri.....	18
Şekil 6. İmza verileri Açık Anahtar (Public Key) ve Gizli anahtar (Private Key) olmak üzere ikili anahtar sistemiyle güvenlik altına alınarak kaydedilir.	25
Şekil 7. Farklı tersim tarzlarına sahip imza örnekleri. A: Basit tersimli imzalar; birinci ve üçüncü imzalar harf ve şekil içerirken ortadaki imza sadece şekilden ibarettir. B: Orta düzey tersime sahip imzalar olup az sayıda harf çok sayıda şekil içermektedirler	33
Şekil 8. İmzanın tablet üzerinden alınarak dinamik verilerinin elde edilmesinde kullanılan adımlar.....	36
Şekil 9. Tablet üzerinden imzaların dokümana aktarılmasını sağlayan Signatus (Anasoft, Slovakia)uygulaması üzerinden imza örneğinin atılması için açılan pencere.....	37
Şekil 10. İmza örneklerinin içerisindeki ham biyometrik verilerin elde edilmesini sağlayan deşifre programının ara yüzü.....	38
Şekil 11. Signatus Analytical Tool programının ara yüzü	39
Şekil 12. (a)Kırmızı oklar kalemin tablet yüzeyine değmeksizin hareketini göstermektedir.(b)Kalem tablet ekranı ile temas halinde iken oluşturulan imzanın sırasıyla x ve y eksenlerindeki “Signature Width Without Air Moves” ve “Signature Height Without Air Moves”	44

Şekil 13. (a) Deney düzeneğinin parçalarının 3 boyutlu yazıcıda bastırılması (b): Deney düzeneğinin parçalarının birleştirilmiş hali.....	50
Şekil 14. Kalemın yüzeyle 90°'lik açı ile temas etmesi su terazı ile doğrulanmış (a) ve farklı ağırlığa sahip kütleler sırasıyla kalem üzerine yüklenmiştir (b).	50
Şekil 15. Kadın ve erkek katılımcıların stylus kalem tablet ekranı ile temas halinde iken Ortalama Hız (Average Speed in Contact) değerlerinin ortalamasının aylara göre değişimi..	53
Şekil 16. Kadın ve erkek katılımcıların stylus kalem ve tablet ekranı temas halinde iken Ortalama Basınç (Average Pressure in Contact) değerlerinin ortalamasının aylara göre değişimi.	54
Şekil 17. Kadın ve erkek katılımcıların stylus kalem ve tablet ekranı temas halinde iken ortalama imza atma süresinin(Total Time of Writing in Contact) ortalamasının aylara göre değişimi.	55
Şekil 18. Kadın ve erkek katılımcıların stylus kalem tablet ekranı üzerinde olup temassız halde iken ortalama imza atma süresinin(Total Time of Writing out of Contact) ortalamasının aylara göre değişimi.	56
Şekil 19. Kadın ve erkek katılımcılar için stylus kalem ve tablet ekranı temas halinde iken toplam imza uzunlarının (Line Length in Contact) ortalamasının aylara göre değişimi.	57
Şekil 20. Kadın ve erkek katılımcıların stylus kalem tablet ekranı üzerinde olup temassız halde iken toplam imza uzunlarının (Line Length out of Contact) ortalamasının aylara göre değişimi.	58
Şekil 21. Kadın ve erkek katılımcılar için stylus kalem ve tablet ekranı temas halinde iken imzaların enlerinin boylarına olan oranının (H/W) ortalamasının aylara göre değişimi.	59
Şekil 22. Kadın ve erkek katılımcıların tüm imzalarının Average Speed verisi açısından mukayesesi	63

Şekil 23. Kadın ve erkek katılımcıların tüm imzalarının Average Speed in Contact verisi açısından mukayesesi	64
Şekil 24. Kadın ve erkek katılımcıların tüm imzalarının Average Pressure in Contact verisi açısından mukayesesi	65
Şekil 25. Kadın ve erkek katılımcıların tüm imzalarının Total Time of Writing in Contact verisi açısından mukayesesi	66
Şekil 26. Kadın ve erkek katılımcıların tüm imzalarının Total Time of Out of Contact verisi açısından mukayesesi	67
Şekil 27. Kadın ve erkek katılımcıların tüm imzalarının Line Length in Contact verisi açısından mukayesesi	68
Şekil 28. Kadın ve erkek katılımcıların tüm imzalarının Line Length out of Contact verisi açısından mukayesesi	69
Şekil 29. Kadın ve erkek katılımcıların tüm imzalarının H/W verisi açısından mukayesesi...	70
Şekil 30. Katılımcıların ilk imzaları ile bir yıl sonra alınan imzalarında Average Speed verisinin değişim oranı	71
Şekil 31. Katılımcıların ilk imzaları ile bir yıl sonra alınan imzalarında Average Speed in Contact verisinin değişim oranı.....	72
Şekil 32. Katılımcıların ilk imzaları ile bir yıl sonra alınan imzalarında Total Time of Writing in Contact verisinin değişim oranı	72
Şekil 33. Katılımcıların ilk imzaları ile bir yıl sonra alınan imzalarında Total Time of Writing out of Contact verisinin değişim oranı	73
Şekil 34. Katılımcıların ilk imzaları ile bir yıl sonra alınan imzalarında Average Pressure in Contact verisinin değişim oranı.....	73
Şekil 35. Katılımcıların ilk imzaları ile bir yıl sonra alınan imzalarında Line Length in Contact verisinin değişim oranı	74

Şekil 36. Katılımcıların ilk imzaları ile bir yıl sonra alınan imzalarında H/W verisinin değişim oranı.....	74
Şekil 37. Tüm Kadın ve Erkek Katılımcıların imzalarının “Average Speed” verisi açısından ortalama değerleri.....	75
Şekil 38. Tüm Kadın ve Erkek Katılımcıların imzalarının “Average Speed in Contact” verisi açısından ortalama değerleri.....	76
Şekil 39. Tüm Kadın ve Erkek Katılımcıların imzalarının “Total Time of Writing in Contact” verisi açısından ortalama değerleri.....	76
Şekil 40. Tüm Kadın ve Erkek Katılımcıların imzalarının “Total Time of Writing Out of Contact” verisi açısından ortalama değerleri	77
Şekil 41. Tüm Kadın ve Erkek Katılımcıların imzalarının “Line Length in Contact” verisi açısından ortalama değerleri.....	77
Şekil 42. Tüm Kadın ve Erkek Katılımcıların imzalarının “Line Length Out of Contact” verisi açısından ortalama değerleri.....	78
Şekil 43. Tüm Kadın ve Erkek Katılımcıların imzalarının “Average Pressure in Contact” verisi açısından ortalama değerleri.....	78
Şekil 44. Tüm Kadın ve Erkek Katılımcıların imzalarının “H/W ” verisi açısından ortalama değerleri.....	79
Şekil 45. Bir numaralı taklitçinin kendi imza verilerinin ortalama ve standart sapmaları ile taklit olarak attıkları imzaların ve taklidi yapılan imza örneklerinin orijinal verilerinin ortalama ve standart sapmaları değerlerinin karşılaştırılması.....	103
Şekil 46. İki numaralı taklitçinin kendi imza verilerinin ortalama ve standart sapmaları ile taklit olarak attıkları imzaların ve taklidi yapılan imza örneklerinin orijinal verilerinin ortalama ve standart sapmaları değerlerinin karşılaştırılması.....	104

Şekil 47. Üç numaralı taklitçinin kendi imza verilerinin ortalama ve standart sapmaları ile taklit olarak attıkları imzaların ve taklidi yapılan imza örneklerinin orijinal verilerinin ortalama ve standart sapmaları değerlerinin karşılaştırılması.....	105
Şekil 48. Dört numaralı taklitçinin kendi imza verilerinin ortalama ve standart sapmaları ile taklit olarak attıkları imzaların ve taklidi yapılan imza örneklerinin orijinal verilerinin ortalama ve standart sapmaları değerlerinin karşılaştırılması.....	106
Şekil 49. Beş numaralı taklitçinin kendi imza verilerinin ortalama ve standart sapmaları ile taklit olarak attıkları imzaların ve taklidi yapılan imza örneklerinin orijinal verilerinin ortalama ve standart sapmaları değerlerinin karşılaştırılması.....	107
Şekil 50. Altı numaralı taklitçinin kendi imza verilerinin ortalama ve standart sapmaları ile taklit olarak attıkları imzaların ve taklidi yapılan imza örneklerinin orijinal verilerinin ortalama ve standart sapmaları değerlerinin karşılaştırılması.....	108
Şekil 51. Yedi numaralı taklitçinin kendi imza verilerinin ortalama ve standart sapmaları ile taklit olarak attıkları imzaların ve taklidi yapılan imza örneklerinin orijinal verilerinin ortalama ve standart sapmaları değerlerinin karşılaştırılması.....	109
Şekil 52. Sekiz numaralı taklitçinin kendi imza verilerinin ortalama ve standart sapmaları ile taklit olarak attıkları imzaların ve taklidi yapılan imza örneklerinin orijinal verilerinin ortalama ve standart sapmaları değerlerinin karşılaştırılması.....	110
Şekil 53. Dokuz numaralı taklitçinin kendi imza verilerinin ortalama ve standart sapmaları ile taklit olarak attıkları imzaların ve taklidi yapılan imza örneklerinin orijinal verilerinin ortalama ve standart sapmaları değerlerinin karşılaştırılması.....	111
Şekil 54. On numaralı taklitçinin kendi imza verilerinin ortalama ve standart sapmaları ile taklit olarak attıkları imzaların ve taklidi yapılan imza örneklerinin orijinal verilerinin ortalama ve standart sapmaları değerlerinin karşılaştırılması.....	112

Şekil 55. Soldan sağa yıpranmamış (yeni), az yıpranmış ve çok yıpranmış kalem uçları ve çapları.....	116
Şekil 56. Yıpranmamış uçlu stylus kaleme yüklenen farklı ağırlıklara karşı okunan basınç değeri ve aralarındaki korelasyon bağıntısı.....	117
Şekil 57. Yıpranmamış uçlu stylus kalemin üzerinden ağırlıklar hafifletirken okunan basınç değerleri ve aralarındaki korelasyon bağıntısı	118
Şekil 58. Az yıpranmış uçlu stylus kaleme yüklenen farklı ağırlıklara karşı okunan basınç değeri ve aralarındaki korelasyon bağıntısı.....	118
Şekil 59. Az yıpranmış uçlu stylus kalemin üzerinden ağırlıklar hafifletirken okunan basınç değerleri ve aralarındaki korelasyon bağıntısı	119
Şekil 60. Çok yıpranmış uçlu stylus kaleme yüklenen farklı ağırlıklara karşı okunan basınç değeri ve aralarındaki korelasyon bağıntısı.....	119
Şekil 61. Çok yıpranmış uçlu stylus kalemin üzerinden ağırlıklar hafifletirken okunan basınç değerleri ve aralarındaki korelasyon bağıntısı.	120
Şekil 62. Stylus kalem üzerine ağırlıklar yüklenirken farklı yıpranma düzeyindeki kalem uçları tarafından ekrana uygulanan kuvvete karşılık okunan basınç seviyeleri	120
Şekil 63. Stylus kalem üzerine ağırlıklar yüklenirken farklı yıpranma düzeyindeki kalem uçları tarafından ekrana uygulanan kuvvete karşılık okunan basınç seviyeleri	121

DENKLEMLER LİSTESİ

Denklem 1. İmzanın en ve boy uzunluklarının oranı kullanılarak ebadının hesaplanma formülü	46
Denklem 2. Acceleration değerinin kesikli türev (discrete) ile hesaplanma formülü	46
Denklem 3. Jerk değerinin kesikli türev (discrete) ile hesaplanma formülü	47



KISALTMALAR LİSTESİ

Hz: Frekans birimi olan Hertz

cm: Santimetre

ms: Milisaniye

TFT: Thin Film Transistor (İnce film transistor)

PDF: Portable Document Format (Taşınabilir dosya formatı)

.csv: Comma Seperated Value (Virgülle ayrılmış değer)

DPI: Dot Per Inch (İnç başına nokta)

H/W: Height / Weight (Stylus kalem ucu tablet ekranı ile temas halide iken ölçülen imza eninin imza boyuna oranı)

ppi: Pixel per inch (inç başına düşen piksel)

ANOVA: ANalysis Of VAriance (Varyans analizi)

ÖZET

Adli bilimler alanında oldukça geniş bir alan olan belge incelemede en çok karşılaşılan vaka türleri arasında hukuki ihtilafa neden olmuş, genellikle kağıt üzerine hazırlanan belgelerin incelenmesi ve üzerindeki imzanın aidiyetinin belirlenmesi yer alır. Gelişen teknoloji ile birlikte kağıt kullanımının azaltılması, işlem süreçlerinin güvenilirliğinin artırılarak hızlandırılması amacıyla birçok sektörde işlemler artık dijital ortamlarda gerçekleştirilmektedir. Özellikle asimetrik şifrelemelerle dokümanları güvence altına alan açık anahtar alt yapılarının gelişmesi ile birlikte elektronik imzaların kullanımı yaygınlaşmaya başlamış bu vesile ile elektronik imzayla benzer şekilde işleyen dijital olarak alınan imzalar hayatın akışında aktif olarak kullanılmaya başlamıştır. Bu duruma paralel olarak belge üzerinde işlenen suçlar değişime uğramış, elektronik ortamda hazırlanarak dijital olarak imzalanmış belgeler de hukuki ihtilafa neden olmaya başlamıştır. Adli makamların belgede sahtecilik kapsamında yeni karşılaştıkları bu durumda dijital olarak alınan belgeleri veya imzaları inceleyecek uygun alt yapıya sahip laboratuvarların ve belge inceleme uzmanlarının olmayışı problem oluşturmaktadır. Bunun temel nedeni tüm dünyada yeni olan bu süreçte imza alımında ve incelenmesinde farklı donanımların ve yazılımların kullanılıyor olması, incelemede kullanılacak olan uluslararası standartların henüz oluşturulmaya başlanmış olması gibi nedenler sayılabilir.

Bu doktora tezi ile dijital olarak alınan imzalar incelenerek hem literatüre katkı sağlamak hem de belge inceleme uzmanlarını bu konuda bilgilendirmek amaçlanmıştır. Çalışmanın ilk

kısmında kişilerin dijital olarak alınan imzalarının zaman içerisinde varyasyon gösterip göstermediğinin incelenmesi ikinci kısmında ise dijital olarak alınan imzaların taklit edilmesi durumunda taklitçilerin imza verileri ile original imzaların verileri kıyaslanarak aralarında fark olan verilerin tespit edilmesi hedeflenmiştir. Böylece kişilerin dijital olarak alınan imza verilerinin bir yıllık bir zaman içinde ne gibi değişime uğradığı bilgisi literatür için bir ilk olması ve yine literatürde henüz çalışılmadığı görülen farklı tür tersim kompleksliğine sahip imzalar bir arada incelenerek bulunacak verilerin sahtecilik çalışmalarına katkı sağlanması amaçlanmaktadır. Çalışmanın son kısmında kapasitif ekran özellikli tabletin basınç ve kuvveti arasındaki korelasyonun belirlenerek kuvvetin normalizasyonunun sağlanması gerçekleştirilmiştir. Literatürde bu çalışmada kullanılan marka ve model kapasitif özellikli tablet ve ona uyumlu pasif kapasitif kalemle henüz çalışma yapılmamış olup basınç ile kuvvet korelasyonuna dair bir bilgi bulunmamaktadır. Bu çalışma ile literatürdeki eksikliğin giderilmesi hedeflenmektedir.

Key words: Dijital olarak alınan imzalar, dinamik imza verileri, biyometrik imza verileri

ABSTRACT

In Forensic Document examination, which is a very broad field in the forensic sciences, the most common types of cases include examining the questioned documents that have caused legal disputes, usually prepared on paper, and determining the identity of the signature on them. With developing technology, transactions in many sectors are now carried out in digital environments in order to reduce paper usage and increase the reliability of documents and elevate speed of transaction processes. Especially with the development of public key infrastructures that secure documents with asymmetric encryption, the use of electronic signatures has become widespread, and digitally captured signatures, which function similarly to electronic signatures, have begun to be actively used in the flow of business life. In parallelly the crimes committed on documents have changed according to technological developments, and documents prepared electronically and signed digitally have begun to cause legal disputes. In this situation, which judicial authorities have just encountered within the scope of electronic document forgery, the lack of laboratories with the appropriate infrastructure and lack of experts to examine digitally captured documents or signatures poses a problem. The main reasons for this are the fact that different hardware and software are used in obtaining and examining signatures in this process, which is new all over the world, and that the international standards to be used in signatures have just begun to be established.

In the first part of the study, it is aimed to examine whether the digitally captured signatures of individuals show variation over the one year period of time. In the second part, in case digitally captured signatures are imitated, it is aimed to compare the data of the forged signatures with the data of the original ones and to detect the data that separates them.

Thus, it is aimed to obtain information, which are not yet included in the literature, about how the digitally captured signature data of individuals has changed over time, and to contribute to forgery studies by examining signatures with different types of complexity. In the last part of the study, it is objected to normalize the force by determining the correlation function between the pressure of the capacitive screen tablet and applied force. In the literature, no study has yet been conducted with the brand and model of capacitive tablet and its compatible passive capacitive pen used in this study, and there is no information about the correlation of pressure value of this tablet and applied force via its stylus pen. This study aims to fill the gap in the literature.

Key words: Digitally captured signatures, dinamic signature data, biometric data of signature

1. Giriş ve Amaç

Adli bilimler alanında oldukça geniş bir alan olan belge incelemede hukuki ihtilafa neden olmuş genellikle kağıt üzerine hazırlanan belgelerin incelenmesi ve üzerindeki imzanın aidiyetinin belirlenmesi Adli Belge İnceleme uzmanlarının en çok karşılaştıkları vakalardır.

Son birkaç dekatta dijital teknolojideki ileri teknikler ve elektronik el yazısı yakalama cihazlarının ve yazılımlarının kullanılması belge inceleme alanına ve bu alanda işlenen suçların şekil değiştirmesine neden olmuştur. El yazısı tanımlamada artık görsele dayalı imzanın ya da yazının harflerin tersimini içeren statik veriler yerine akıcılık ve hızlılığı tanımlayacak sayısal verileri içeren dinamik veriler söz konusu olmaktadır.

Zamandan tasarruf sağlaması, doküman üzerinde yapılan işlemlerin hızlandırılması, kağıt ve mürekkep israfının önüne geçilmesi, imzalı belgelerin güvenilirliğinin artırılabilmesi gibi bir çok avantaj sağlaması sebebiyle elektronik dokümantasyon süreçleri bankacılık, telekomünikasyon ve kargo gibi birçok sektörde hem ulusal hem de uluslararası olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Bu duruma paralel olarak doküman üzerinde yapılan sahteciliklerde değişmektedir. Doküman içeriğine eklenti ya da silinti yapılması veya zaman damgasının değiştirilmeye çalışılması gibi doküman üzerine yapılan sahtecilik eylemleri olabilmektedir. Dijital olarak hazırlanan ve imzalanan dokümanlarda sıklıkla rastlanılan sahtecilik yöntemi ise başkasının imzasının taklit edilmesi suretiyle dijital ortamdaki dokümanın imzalanmasıdır. Bu nedenle, firmaların işlemlerinin güvenilirliğini artırması ve işlemi yapan personelin işini kolaylaştırabilmesi amacıyla farklı tabanlarda çevrimiçi imza doğrulama sistemleri geliştirmesi söz konusu olsa da son zamanlarda başkasının yerine imza atmak suretiyle oluşturulmuş elektronik belgedeki

imzalar hukuki ihtilafa neden olmaktadır. Diğer taraftan dava sürecindeki vakalar için görüşü sorulan belge inceleme uzmanlarının dijital olarak alınan imzaları incelemede kullanacakları net bir yöntem mevcut değildir.

Bu tez çalışmayla geleneksel yöntemlerden (stereo mikroskop, ışık kaynakları ve filtreler, kimyasal analiz yöntemleri vb.) farklı olarak tablet üzerinden alınan imzalar incelenmiştir. Çalışma üç temel amaç içermektedir. İlki kişilerin zaman içerisinde imzalarında oluşan varyasyonu belirlemek; diğeri imza taklitleriyle orijinallerini kıyaslayarak orijinal imza verileriyle taklitlerinin verileri arasında anlamlı bir fark olup olmadığının tespiti ile birlikte taklitçilerin orijinal imza verileri ile taklit imzalarının verileri kıyaslanarak kendi verilerinin aynı değerleri sağlayıp sağlamadıklarını incelemektir. Sonuncu amaç ise dijital olarak alınan imzaların en önemli verilerinden olan basınç verisinin pasif kapasitif özellikteki stylus kalemle kapasitif özellikteki tablet ekranlarından alınırken okunan göreceli basınç seviyesinin kalem yıpranması ile oluşacak farklılığını saptamak ve tablet ekranına uygulanan kuvvet ile okunan basınç verisi arasında normalizasyon bağıntısını sağlamaktır.

Kişilerden bir yılı aşkın süreyle imza örneklerinin alınması ve varyasyonlarının tespiti literatürde ilk olup adli belge inceleme uzmanları için oldukça fikir verici olacağı ön görülmektedir. İmza sahteciliği çalışmasında ve basınç hassasiyeti çalışmasında kullanılan tabletin ve analizlerde kullanılan yazılımların literatürde bu tür çalışmalarda kullanılmamış olması ve çalışmanın sahtecilik kısmında incelenen veriler olan imzalama sırasında veri alınan nokta sayısı, kalemin ekranla temas etmeksizin yüzeye yakın haldeyken okunan hız, süre ve toplam uzunluk verileriyle yapılan inceleme sonuçlarının literatür için ilk olması beklenmektedir.

2. Genel Bilgiler

2.1. El Yazısı / İmza

Parmak izleri gibi her kişinin el yazısı ve imzası kişiye özgü olup benzersizdir. El yazısının her birey için benzersiz ve tanımlanabilir özelliklerinin bir birleşimi olduğu genel olarak kabul edilmektedir. Sadece bir kişi tarafından tamamen aynı şekilde atılan iki imza mevcut olamayacağı gibi, bir başkasıyla aynı özelliklere sahip olacak şekilde yazmayacağına da inanılmaktadır (1). El yazısı yalnızca benzersiz olmayıp aynı zamanda yazının çeşitli özellikleri (tersim, hız, basınç, işleklik, vb.) birbiriyle ilişkilidir ve bireye özgüdür.

Hiçbir iki el yazısının tamamen aynı şekilde yazılamayacağı ilkesi, her yazarın doğal bir çeşitlilik (varyasyon) aralığına sahip olmasıyla ilgilidir. Herkesin el yazısı yaş, alınan eğitim, yazma sıklığı, nöromusküler sistemi etkileyen ilaçların kullanılması gibi çeşitli faktörlere bağlı olarak zaman içerisinde doğal farklılıklar gösterir (2,3). El yazısında zaman zaman oluşan küçük farklılıklara rağmen her insanın kendine özgü farklı karmaşıklığa yani tersim zorluk derecesine sahip bir el yazısı stili vardır. Bir imzanın veya yazının karmaşıklığını veya tersimindeki zorluğu derecelendirmekte beş bileşen değerlendirilir (1,4):

1. *Toplam hat uzunluğu:* Herhangi bir şekil yapmaksızın düz oluşturulan çizgilerden oluşan imzalardan farklı olarak imzadaki çizgi hattı ne kadar uzun olursa imzanın tersimi de o kadar karmaşık olur.
2. *Hattaki belirgin yön değişikliklerinin sayısı:* imza oluşturulması sırasında kalem hattı çekilirken 180° civarındaki yön değişiklikleri ile birlikte yapılan hareket sayısındaki artış imzanın tersimini zorlaştırmaktadır.

3. *Üst üste yazma sayısı*: Üst üste yazma bazen harfler ve çekiş hatları olarak imza içerisinde görülürken bazen de küçük çekiş ve dönüşleri içeren ara gramalarda görülmektedir. Üst üste binmelerin sayısı arttıkça tersimin zorlaştığı da söylenebilir.
4. *Kalem hareketinin sürekliliği*: Kalemin sürekliliğindeki kesintiler, taklitçi için duraklamak ve bir sonraki hamleyi düşünmek için avantaj sağlar. El kaldırma olmaksızın kalem hareketinin sürekliliği sağlanarak tek seferde birçok hareket ve dönüş içeren uzun bir imzanın tersimi zor olarak tabir edilmekte olup taklidi zordur.
5. *Karmaşık kalem hareketlerinin tekrarı*: Akıcı ve karmaşık kalem hareketleri, yalnızca doğal ve/veya pratik yapıldığında kolaylıkla gerçekleştirilebilir. Bunların kusursuz bir şekilde kopyalanması da taklitçinin yeteneğine bağlıdır. Karmaşık hareketler imza içinde ne kadar çok tekrarlanırsa taklidi de zorlaşır.

İmza ve yazı incelemelerinde esas alınan dokuzlar kaidesinin unsurlarına ilaveten harflerin eğimi ve kıvrımı, harflerin birbirine oranı, bir harfin oluşturulması sırasındaki başlangıç ve bitiş noktaları, ritmik olup olmadıkları, yazım kalitesi gibi özellikler kişilerin ayırt edilmesinde önemli rol oynarlar (5). Bu nedenle, el yazısı uzmanları el yazısındaki özellikleri incelerken kişiye ait bir dizi yazı örneklerini incelemek sureti ile kişiye özgü varyasyon aralığını belirler (4,6,7).



Şekil 1. Kişinin farklı zamanlarda attığı imzanın tersimindeki varyasyon

Uzmanın imza incelemesinin sonucunun gücü, karşılaştırma için gönderilen materyalin miktarına bağlı olduğu kadar el yazısının karmaşıklığı ve imzanın tersimi gibi diğer kriterlere de bağlıdır (1–5).

Geleneksel imza inceleme tekniğinde uzman sorgulanan imza ile mukayese imzalarını aşağıdaki özelliklerine (dokuzlar kaidesi) bakarak değerlendirmekte ve imzanın kişiye mi ait olduğuna yoksa takliden mi atılmış olduğuna karar vermektedir (3):

1. *Tersim tarzı*: Yazının ya da imzanın oluşturulma şeklidir. Tersim tarzı kişiye özgü olup düşünmeden aynı şekilde yazmasının sonucunda ortaya çıkar. Kişilerin herhangi bir nöromusküler hastalığı olmadığı sürece genelde stabil kalır. Yazı veya imzada harfin alış noktasından bitiş noktasına kadar oluşan şekil kişinin tersimini belirler.
2. *İşleklik*: İşlek yazı ve imzada akıcılık söz konusu olup yazma sıklığına bağlı olarak artar. İşlek imzada basıncın daha az olduğu görülür.
3. *İstif*: Yazının oldukça sıkışık yazılması istifli olarak tanımlanır. Genelde küçük ve dar alanlara kişiler istifli yazma eğilimindedirler. İstifli yazma bazen de kişilerin alışkanlığı olabilmektedir.
4. *Eğim*: Eğim sağa, sola veya dik olarak tanımlanmaktadır. Yazı yazma pozisyonu yazının eğimini etkileyebilmektedir.
5. *Doğrultu*: Yazının ve imzanın genel olarak düz bir hatta olup olmaması ile ilişkilidir. Yazma alışkanlığı olmayan kişilerde yazı veya imza doğrultusu yukarı ya da aşağı yönde olabilmektedir.
6. *Seyir*: Yazı ve imzanın yataydaki hareketinin bütünselliğinin ölçüsüdür.
7. *Hız*: Yazı yazma alışkanlığı ile orantılı olarak artar. Tanı kriterleri arasında tersimden sonraki en önemli unsurdur. Yazının veya imzanın çekiş ve bitiş hatları, incelen uçlar hız hakkında fikir verir.

8. *Alışkanlıklar*: Yazıda veya imzada kişiye özgü olan bulgulardır. Örneğin, ö veya ş gibi üstünde veya altında diakritiği (noktası) bulunan harfler oluşturulurken diakritiğin konumu ve şekli kişiye özgü olabilmektedir. Ya da yazımı süslemek adına normalde kullanılmayan bir çekişin kişi tarafından sürekli olarak yapılması alışkanlığın göstergesidir.
9. *Fulaj (basıncı-baskı derecesi)*: Yazma eylemi sırasında kalem ucunun kağıt üzerinde oluşturduğu girintinin kağıdın arka tarafından görüntülenmesi sonucu tanımlanabilir. Fulaj, kullanılan kalemin uç çapına, kağıdın kalınlığına, kağıdın altında bulunan zeminin sert veya yumuşak oluşuna ve kişinin alışkanlığına bağlı olarak farklılık gösterir.

2.1.1. İmza taklitleri

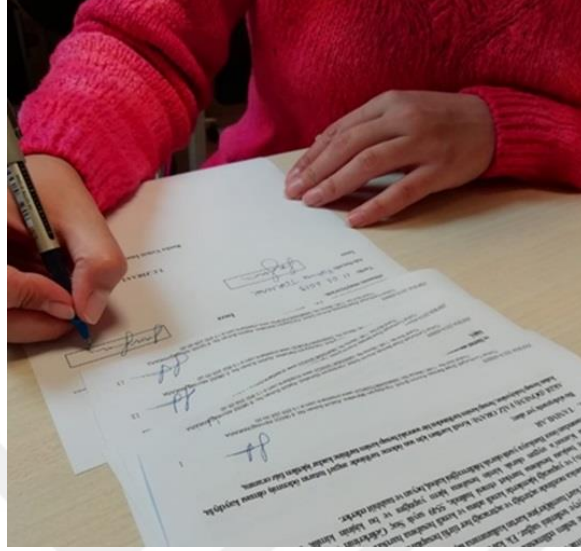
İmza taklit etmenin birden fazla yolu vardır. Takliden atılan her imza çıplak gözle ilk bakışta tespit edilemeyebilir. Bunun nedeni hem taklitçinin yeteneği hem de kullanılan taklit türüdür (8,9).

2.1.1.1. İmza taklit türleri

Basit (adi) taklit: Taklitçinin orijinal imzanın görseline erişiminin olmadığı durumda başkasının adına rastgele bir imza oluşturması sonucunda ortaya çıkar. Bu tür sahtecilik, çalıntı çek vakalarında sıklıkla görülür. Çünkü taklitçide çek sahibinin imzası mevcut değildir (2,9,10).

Serbest taklit: Taklitçinin orijinal imzanın bir modeline bakarak imzanın biçimini veya genel stilini taklit etmeye çalıştığında ortaya çıkar (4,8). Serbest taklit kendi içerisinde ikiye ayrılır (1,10):

Bakarak taklit: Bu tür sahtecilik vakalarında taklitçi imza örneğini model alarak imzanın tersimini birebir bakarak taklit eder.



Şekil 2. Bakarak taklit sureti ile yapılan sahteciliklerde taklitçi orijinal imza örneğini karşısına alarak imzanın tersimini taklit eder

Serbest taklit (Bakmadan taklit): Taklitçi, sahte belgeye imza atmadan önce imzayı birçok kez deneyerek çalışır. Orijinal imzanın tersimine hakim olduğuna karar verdiği zaman sahtecilik eylemini gerçekleştirir. Bu tür imzaların bakarak taklitte atılan imzalara kıyasla taklitçinin yeteneğine bağlı olarak daha hızlı atılmış olması beklenir (1,9,10).

İz üzerinden giderek taklit etme: Taklitçi sahte belgeyi gerçek bir imzanın üzerine yerleştirerek imzayı kopyalar. Gerçek imzanın daha net görülebilmesi için arka ışık veya ışık kutusu kullanılabilir. Bu tür sahteciliklerde eski ve artık pek kullanılmayan bir yöntem olmakla beraber bazen karbon kağıdı kullanılarak orijinal imzanın bir örneğinin başka bir belgeye transfer edildiği görülmektedir (1,10).

İmzanın transferi: Gerçek bir imzanın bir kopyasının başka bir belgeye aktarılması durumunda ortaya çıkar. Bu, orijinal imzanın fotokopisi alınarak hedef belgeye yerleştirilmesi ve ardından imzanın belgenin doğal bir parçası gibi görünmesi için yeni oluşturulan belgenin fotokopisinin çekilmesiyle yapılabilir. Bu gibi durumlarda inceleme konusu belgelerin asılları mevcut değildir. Alternatif olarak bir imza taranabilir, dijital olarak başka bir belgeye aktarılabilir ve ardından yazdırılabilir. Bu tür imzaların çıplak gözle tespit edilmesi zor olabilir çünkü bilgisayar teknikleri kullanılarak hedef dokümana aktarılan imza, orijinal mürekkebe benzeyecek şekilde renklendirilerek değiştirilebilir. Kişilerin tam olarak birebir aynı imzayı atması gerçek hayatın akışına aykırı bir durum olacağından farklı belgelerde iki özdeş imzanın bulunması, imzalardan birinin kopyalanıp aktarıldığının işaretidir (9–13).

2.2. Dijital Olarak Alınan İmzalar (DCS-Digitally Captured Signatures)

Günümüzde dijitalleşen dünya ile birlikte bankacılık, finans veya kargo gibi birçok iş kolunda işlemler çevrimiçi olarak yapılmakta olup burada murat edilen işlemlerin gerçekleştirilmesinin ve söz konusu evrakın depolanmasının kolaylaştırılması olup bu sayede kağıt kullanımının azaltılması da hedeflenmektedir. Dijital olarak işlemi yapan kişinin kimliğinin doğrulanabilmesi ve saklanabilmesi için kişiye özgü değiştirilmeyen karakteristikler olan biyometrik özellikleri (parmak veya avuç izi, iris okuma, imza veya ses gibi) analiz eden ve doğrulayan sistemler geliştirilmiştir. İris ve parmak izi gibi kişiye özgü fiziksel karakteristiklere bakılırken, imzanın ve sesin tanınmasında kişiye özgü davranışlar incelenmektedir (14,15) .

Birçok toplumda yüzlerce yıldır kimlik doğrulama biçimi olarak kullanılan imzanın, dijital olarak kullanımında kullanıcıya ve imza doğrulama sistemlerine sağladığı birçok avantaj bulunmaktadır. Diğer kimlik doğrulama yöntemlerine kıyasla en doğal, düşük maliyetli ve

kullanıcı dostu bir yöntem olmasından dolayı son yıllarda dijital olarak alınan imzaya dayalı biyometrik kimlik doğrulama sistemlerinin kullanımı yaygınlaşmaktadır (5,16).

Biyometrik imzalar, dinamik imzalar, elektronik olarak yakalanan veya çevrimiçi imzalar olarak da adlandırılabilirler (15–17). Adli bilimlerde dijital olarak alınan imza (DCS: Digitally Captured Signatures) kavramı daha yaygın kullanılmaktadır.

Ülkemizde halihazırda bu yöntemle telekomünikasyon sektöründe abonmanlık sözleşmeleri, kargo firmalarının teslim belgeleri ve bankaların müşteri hizmet sözleşmeleri pdf formatında hazırlanarak tablet üzerinden doldurulup müşteriler tarafından imzalaması sağlanmaktadır. Bu sayede hem kullanım pratikliği hem de doküman arşivlemek için gerekli maliyetlerden tasarruf edilmesi hedeflenmiştir.

Biyometrik imza çözümlerinin uygulanması için imza atan kişinin biyometrik verilerini yakalayabilecek kabiliyete sahip özel bir dokunmatik ekran ve bu ekranla uyumlu şekilde çalışan stylus kalem gerekmektedir (15,17,18). Bu cihazlar hem statik verileri (imzanın resmi gibi) hem de dinamik verileri (hızlanma, hız, eğim açısı, basınç vb.) yakalamakta ve kayıt edebilmektedir. Bu sayede kişilerin imzasının hem statik hem de dinamik verileri ile birlikte imzanın atıldığı lokasyon bilgisi, atan kişinin anlık resmi ve kullanılan cihazın marka/modeli elektronik belge içerisine gömülebilmektedir (19). Dijital olarak alınan imzalar elektronik imza süreçlerindeki gibi veri güvenliğinin sağlanabilmesi amacıyla verinin korunduğunu gösteren dijital sertifikalı asimetrik kriptografi ile kaydedilirler. Bu özelliklerin dokümanda saklanması sözleşme süreçlerinin güvenilirliğini arttırmaktadır.

2.2.1. Dijital olarak imzaların alınmasında kullanılan donanımlar

Biyometrik imza çözümlerinin uygulanması için imza atan kişinin biyometrik verilerini yakalayabilecek kabiliyete sahip özel bir dokunmatik ekran ve bu ekranla uyumlu şekilde çalışan stylus kalem gerekmektedir (17). Bu cihazlar hem statik verileri (imzanın resmi gibi) hem de dinamik verileri (hızlanma, hız, eğim açısı, basınç vb.) yakalamakta ve kayıt edebilmektedir. Bu sayede kişilerin imzasının hem statik hem de dinamik verileri ile birlikte zaman damgası, imzanın atıldığı lokasyon bilgisi, atan kişinin anlık resmi ve kullanılan cihazın marka/modeli elektronik belgede içerisine kaydedilmektedir. Bu özelliklerin dokümanda güvenilir dijital sertifikalarla saklanması sözleşme süreçlerinin güvenilirliğini arttırmaktadır (20).

2.2.1.1. Dokunmatik ekran sistemleri

Dokunmatik ekranların çalışması için temelde üç bileşen bulunmaktadır: dokunmatik sensör, denetleyici sistem ve yazılım (21). Genel olarak dokunma sensörleri dirençli, yüzey akustik dalgası veya kapasitif olmak üzere üç türden biri olabilmektedir. Yüzey akustik dalga sistemlerinde, ses dalgaları yüzey camı boyunca gönderilir, böylece bir stylus ile dokunulduğunda sistemin bozunmasından kaynaklanan algılama sağlanır. Dirençli ve kapasitif sensörler en yaygın olarak kullanılmaktadır. Dirençli sistemlerde, iki metalik katman birbirine bağlanır ve ekrana dokunulduğunda elektrik akımında bir değişikliğe neden olur. Elektrik akımında oluşan farklılık, işlenmek üzere bilgisayar kontrolörüne gönderilerek algılama gerçekleşir. Dirençli sistemler tek nokta dokunuşunu algılamakta olup çoklu dokunmayı algılamada (örneğin iki parmağınızı kullanarak ekrandaki görüntüyü büyütmek istemeniz gibi) yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle çoklu dokunmayı algılayan kapasitif sistemler günümüzde daha çok tercih edilmektedir (22).

Kapasitans, bir nesnenin elektrik yükünü depolama yeteneğinin bir ölçüsüdür. Bir yalıtkanla ayrılan herhangi iki iletken malzeme, eğer birbirine yeterince yakınsa, kapasitans özelliği gösterir (22,23). Kapasitif sistemler kapasitans özelliğini kullanarak çalışır. Ekranla temasın gerçekleştiği noktadaki elektrostatik yük miktarını değiştiren ve yalnızca parmaklarla çalışan bir kapasitif malzeme tabakası kullanılır. Ekranın arkasında bulunan kontrol devresi, yüzeydeki yük miktarındaki değişimi temel alarak prob ucunun (parmak veya stylusun) konumunu belirler. Kontrolör, bilgiyi sensörlerden alır ve dokunmanın tam olarak nerede gerçekleştiğini belirler. Bu bilgi daha sonra dokunmaya tepki veren yazılıma gönderilir. Bu uzun bir süreç gibi görünse de gerçek zamanlı olarak nanosaniyeler kadar zaman almaktadır.

Günlük hayatta aktif olarak kullandığımız akıllı aletlerin ve mobil cihazların çoklu dokunmatik (multi-touch) ekranları kapasitif algılama sistemini kullanmaktadır. Dokunmatik ekranlarda görüntü genel olarak akrilik veya camın arka kısmında bulunana LED'lerin geri aydınlatması ile oluşur. Ayrıca, kapasitif ekranlara basma derecesine bağlı olarak farklı şekilde esneyen ve yansımayı değiştiren basınca duyarlı bir kaplama eklenerek ekranların basınca duyarlı hale getirilmesi sağlanabilmektedir (21,23).

Dokunmatik ekranların çalışma prensibi; içerisinde bulunan dokunma sensörü ile birlikte sürücülü ve algılayıcı metotlu, analog, ön uçlu, tümleşik devreye [(analog front-end (AFE) integrated circuit (IC)] ve kapasitif dokunmatik ekranlarla uyumlu olarak kullanılan stylus kalemlere dayanır (21,22).

Tablet ekranlarında yaygın olarak kapasitif dokunmatik ekranlar kullanılır ve dört katmanlı kompozit camdan oluşur. Ekranlar bir cam levhanın her iki tarafı da iletken bir malzemeyle kaplanırken dış yüzeyi çizilmeye karşı dayanıklı malzeme ile kaplanarak oluşturulur. Ekran

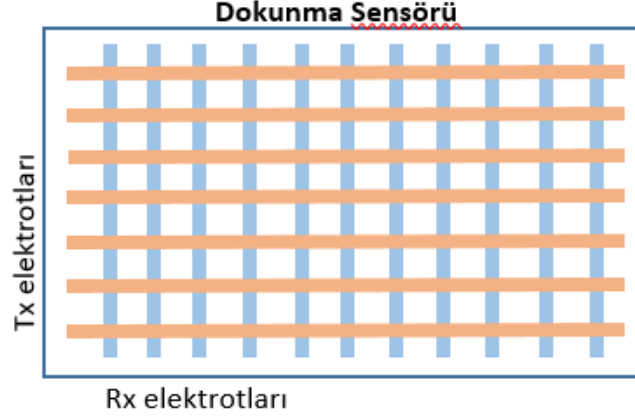
panelinin üzerindeki elektrotlar, düşük voltajlı alanı dış iletken katman boyunca eşit şekilde dağıtacak şekilde yerleştirilir. İç katman koruma ve gürültü azaltma sağlar (24).

Ekranların içerisinde eklenti (add-on), hücre üstü (on-cell) ve hücre içi (in-cell) olmak üzere üç farklı türde dokunma sensörü kullanılmaktadır. Kapasitif dokunmatik ekranlara eklenti tipi sensörler dokunma sensörü ekran paneline hava boşluğu içerecek şekilde kolayca takılabilmektedir. Ancak kalınlığa ve ağırlığa sebep olması, üretim maliyetinin yüksek olması ve düşük geçirgenliğe sahip olması ile diğer iki tip sensörden ayrılmaktadır (25).

Hücre üstü tipteki dokunma sensörlerinde hava boşluğu olmayıp ekran kaplama camı ile display paneli arasında yer alır. Böylece eklenti tipi sensörlere göre daha yüksek geçirgenliğe, daha düşük üretim maliyetine, daha az ağırlığa ve daha ince kalınlığa sahiptir. Diğer taraftan, kapasitans değişimleri oldukça düşüktür ve yüksek ekran gürültüsü üretirler (26).

Hücre içi tip dokunma sensörü display paneline entegre haldedir, diğer iki tip sensöre göre daha az ağırlığa, daha az kalınlığa ve daha düşük üretim maliyetine sahiptir (27).

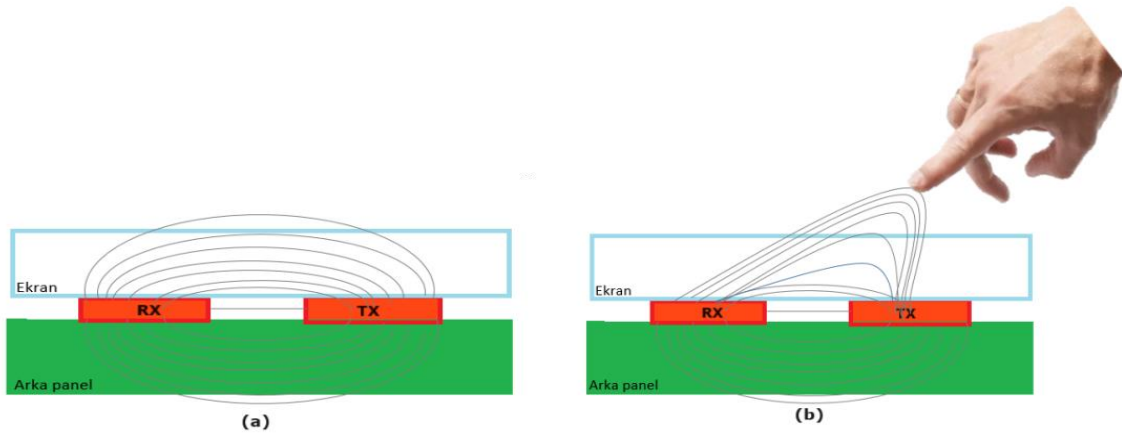
Kapasitif bir ekranda çoklu dokunmayı gerçekleştirmek için karşılıklı kapasitans elektrotları eklemek gerekir. Basit bir ifadeyle, ekranı bloklara bölmek ve her alanda bağımsız çalışacak bir grup karşılıklı kapasitans modülü ayarlamak gerekmektedir. Dokunma sensörleri oluşturan elektrotlar matris halinde yüzeyde konumlandırılır. Bu nedenle kapasitif ekran, her bir alanın dokunma durumunu bağımsız olarak algılayabilir ve işlemiden sonra çoklu dokunmayı kolayca gerçekleştirebilir (28).



Şekil 3. Karşılıklı sıralanmış Rx, alıcı elektrot ve Tx iletici elektrot matrisi dokunma sensörünü oluşturur

Parmak ekrana dokunduğunda voltajla kapasitif bir bağlantı oluşur ve küçük bir akım çekilir. Elektrotlar köşelerden gelen akım akışını ölçer ve kontrolör parmağın koordinatlarını belirler.

Analog ön uçlu tümleşik devrelerin (AFE IC) genellikle gürültülü ortam altında küçük kapasitans değişikliklerini algılaması ve parmağın veya prob (stylus) ucunun hızlı hareketine yanıt vermesi gerekmektedir. Bu nedenle çeşitli sürücü ve algılama yöntemleri mevcuttur (21).

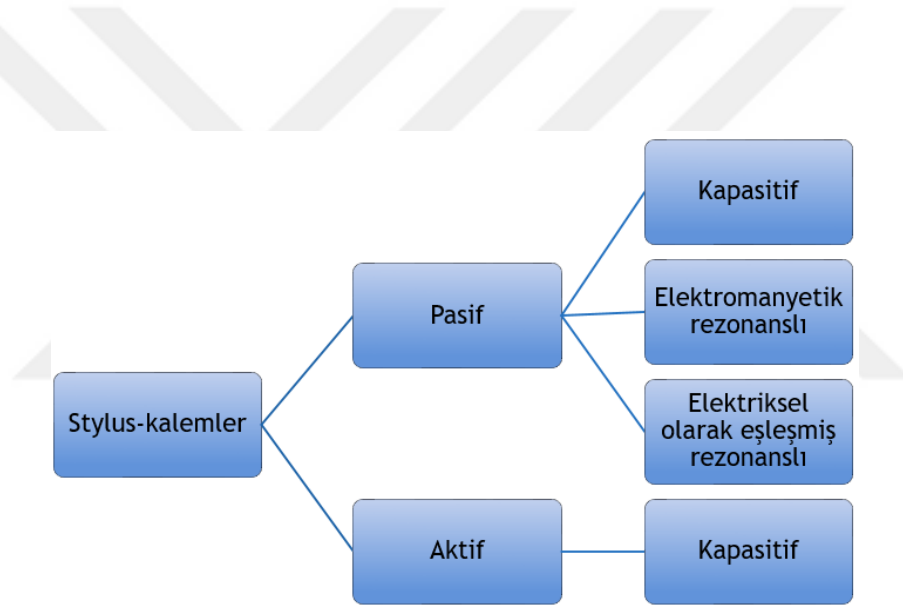


Şekil 4. Rx, alıcı elektrod ve Tx iletici elektrotlar karşılıklı kapasitans elektrodları olup ekran yüzeyine entegre halledir

Şekil 4. 'te görüldüğü üzere kullanıcı panel üzerinde Tx'in Rx ile bulunduğu bir alana dokunduğunda, Tx ve Rx elektrotları arasındaki elektrik alanı yayılımını bozarak ortak kapasitansın azalmasına neden olur. İnsan vücudu toprağa bağlı bir iletkenidir. İki ortak kapasitans elektrodu arasına bir parmak yerleştirmek kabaca topraklama yapmakla benzer etkiye neden olur; aralarındaki elektrik alanı bağlantısını azaltır, bu da kapasitansı azaltır.

2.2.1.2. Stylus kalemler

Dokunmatik ekranlarla kullanılan stylus kalem tipleri pasif ve aktif olmak üzere 2 ye ayrılır (Şekil 5).



Şekil 5. Çalışma prensibine göre stylus kalem çeşitleri

1. Pasif Stylus

a) Kapasitif Pasif Stylus: Kapasitif pasif kalem, elin kavramsal bir uzantısı olan ve herhangi bir kapasitif dokunmatik ekran ile pratik olarak çalışmakta olup, hafifliği ve düşük maliyeti nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Kalem, kendi uç çapına ve dokunma sensörü içerisindeki elektrotların arasındaki mesafeye bağlı olarak çalışır. Kalem ucu kalınlaştıkça elektrotlar arasındaki elektrik alan bozularak kapasitansta artışa neden olur. Kalem üreticileri

kalemin ucunu sivri olarak üreterek çapını küçültmeler dahi uç kısmına şeffaf bir disk ekleyerek elektrik alanın daha çok emilmesini sağlayarak kalemin konumunun belirlenmesinin kolaylaştırılmasını amaçlarlar (29).

b) Elektromanyetik Rezonanslı (EMR) Pasif Stylus: Ek işlevlerin uygulanmasının kolay olduğu EMR tipi pasif kalem, cep telefonları için uyarlanmıştır.

Stylus kalemin içinde, bu elektromanyetik alanları toplayan LC rezonatörü içeren bir devre bulunmaktadır. Bu tür kalemlerin kullanıldığı ekranlarda ise elektro manyetik rezonans (EMR) sensörleri yer alır. Kalem ucu tarafından absorbe edilen manyetik alan kalem içerisindeki devre aracılığı ile rezonans sinyaline dönüştür ve ekran üzerinde bulunan EMR sensörüne geri iletilir. Bu tür kalemlerin kalem uçları dar olup yüzeye uygulanan basıncı ve eğim açısını ölçme gibi avantajlar sağlasa da rezonans sinyalini üretmek ve algılamak için ek EMR sensörüne ihtiyaç duyarlar. Bu durum güç tüketimini ve üretim maliyetini artırmaktadır. Ayrıca dokunmatik ekrana manyetik sensör takılması ekranın kalınlığını ve ağırlığını da artırmaktadır (21,29–31).

c)Elektriksel Olarak Eşleşmiş Rezonanslı Pasif Stylus (ECR): ECR tipi pasif stylus ucu, ekran yüzeyinde ek bir manyetik sensöre gerek olmadan basıncı elde edebilmek amacıyla üretilmiştir. Kalem içerisinde bobin ve kapasitörden oluşan LC devresi yer alır. Ekran üzerinde ise uyarıcı ve okuyucu devreleri bulunur. Kalem ucu ekran üzerinden uyarıcı gerilimi absorbe ederek LC devresi ile rezonans sinyali üretir. Bu sinyal aracılığı ile kalemin uyguladığı basınç değeri elde edilebilir. ECR tipi pasif prob ucu, kapasitif dokunmatik ekranlara ek bir manyetik sensör takılmasına gerek yoktur, dolayısıyla düşük güç tüketimi, düşük üretim maliyeti ve ince dokunmatik ekranlar elde edilir, ancak ölçülen basınç değeri gerçek basıncı tam olarak yansıtmamaktadır (32,33).

2. Aktif Stylus

Basınç ve belli mesafeye kadar elin havadaki hareketini algılayabilecek özellikte üretilirler. Aktif stylus kalemler kuvvet ölçer, ivme ölçer, jiroskop ve manyetometre kombinasyonunu içeren IMU, uyarıcı ve kontrol devreleri ve pil gibi bir çok bileşenden oluşur. Bu tür kalemlerin kullanılacağı ekranların içerisinde de uyarıcı ve okuyucu devrelerin yer aldığı daha kompleks devre sistemleri yer almaktadır (21).

2.2.1.3. Pixel kavramı ve görüntüleme sistemleri

Picture element kelimesinden türetilen pixel bir bilgisayar ekranındaki veya görüntüsündeki programlanabilir rengin temel birimi olup fiziksel bir birimden ziyade mantıksal bir birimdir (34).

Pikseller, dijital ekranların en küçük birimdir ve iki boyutlu bir ızgarada düzenlenirler. Bir cihazın ekranında milyonlarca piksel bir araya gelerek görüntü veya video oluşturabilmektedir. Her piksel genelde farklı yoğunluk ve şiddet gösterebilen kırmızı, yeşil ve mavi (RGB: Red Green Blue) renkte dizili alt piksel içerir. RGB renk bileşenleri, bir ekranda veya bilgisayar monitöründe görünen farklı renk çeşitlerini oluşturur.

LCD ekranlar tipik olarak, kırmızı, yeşil ve mavi bileşenlerin farklı konumlandığı kademeli bir ızgara kullanır. Alt piksel işleme, renkli likit kristal ekran (LCD) veya benzeri bir ekrandaki çözünürlüğünü artırmak için kullanılır (35).

Büyüteç gibi bir aletle bakıldığında alt piksel bileşenleri kolayca görülebilir. Bu piksel bileşenleri, optiklerin bulanıklaştırması ve gözdeki sinir hücrelerinin uzamsal entegrasyonu nedeniyle insan gözüne tek bir renk olarak görünür. Bir pikselin içerdiği RGB'nin hepsinin aynı

anda açılmasıyla beyaz bir nokta oluşturmaktadır, ancak büyütülerek bakıldığında RGB'den görünen beyaz noktada her bir alt pikselin 1/3'lük kısmı oluşturduğu görülür.

Alt piksel işlemede önce görüntüyü oluşturan her piksel aynı miktarda yeşil mavi ve kırmızı açılıp görüntü bulanıklaştırarak doğru renk üretilir ve görüntü işlenir.

90 veya 180 derecede dönebilen ekranlarda RGB dizilimi bazen BRG şeklinde ya da üçgen dizilimde veya dördüncü bir alt ana renk içeren kareler halinde olabilmektedir. Ekranlardaki bu tür farklılıklardan dolayı alt piksellerin dizilim düzeni, pikselleri işlemede kullanılacak olan yazılıma tanıtılması gerekmektedir(35,36).

Piksel sayısı, ekran çözünürlüğünü belirler ve genellikle piksel sayısı arttıkça görüntü daha net ve keskin hale gelir. Piyasadaki en yeni 8K tam ultra yüksek çözünürlüklü televizyonlar yaklaşık 33 milyon piksel içermekte olup çözünürlüğü 7680 x 4320 dir (37).

Görüntüyü oluşturan her bir pikselin içerdiği renk aralığı ne kadar fazla ise pikselin gösterdiği renk gerçeğe yakın bir renk olacaktır. Pikselin içerdiği renkler derinlik kavramı ile tanımlanır ve “ bit ” olarak ifade edilir. Pikselin sahip olacağı derinlik hesabı 2^n ile hesaplanır. Örneğin 1 bit renk derinliğine sahip olan bir piksel (2^1) siyah ve beyaz olmak üzere iki adet renk içermektedir. Her ana renk bileşeni için bir bayt olmak üzere, bir pikselin rengini belirtmek için üç bayta kadar veri kullanılır. Gerçek bir renk veya 24 bit renk sistemi, üç baytın tümünü kullanır. Bununla birlikte, birçok renkli görüntüleme sistemi, ekranı 256 farklı renkle sınırlayan yalnızca bir bayt kullanır (35,37).

Görüntüleme sistemleri emisyonlu ve emisyonlu olmayan olmak üzere iki tür içerir. Emisyonlu sistemler, elektrik enerjisini ışık enerjisine dönüştüren cihazlardır. Her bir pikselden farklı

yoğunluk ve renkte ışık yayar ve bu ışık bir görüntü oluşturur. Plasma paneller, LED, Düz CRT ler emisyonlu ekranların alt gruplarını oluşturur (21,25).

Emisyonsuz görüntüleme sistemleri güneş ışığını veya başka bir ışık kaynağını grafik desenlere dönüştürmek için optik etkileri kullanan cihazlardır. Görüntüleri işlemek için soğurma, yansıtma, kırılma ve saçılma yoluyla ışığı modüle ederler. Bu tür ekranlar için bir ışık kaynağı gereklidir(21).

Likit Kristal Ekranlar (LCD'ler) emisyonlu görüntüleme sistemlerinden olup görüntü oluşturmak için bazı harici ışık kaynaklarına ihtiyaç duyarlar. Bu ışık, hesap makinesinde olduğu gibi yansıtıcı (reflective) bir ekran olması durumunda ortam ışığı veya dizüstü bilgisayar gibi aktarıcı (transmissive) bir ekran olması durumunda arkadan yansıtma ile gerçekleşir(38).

Bir LCD'de, her pikseldeki sıvı kristal moleküller, bağımsız bir ışık anahtarı olarak çalışır. Harici voltaj sıvı kristali yeniden yönlendirerek faz gecikmesine neden olur. Sonuç olarak, arka ışıktan gelen ışık modüle edilir. Yüksek kontrastlı LCD'ler iki çapraz polarizör kullanır. Uygulanan voltaj, ışığın polarizörlerden geçişini kontrol eder. LCD'ler iletici, yansıtıcı veya transflaktif (geçirgen ve yansıtıcının bir karışımı) olabilir(39).

LCD, kendinden emisyonlu olmayan bir ekran teknolojisidir, ekran efektini elde etmek için arka ışığı kullanması gerekir. LCD panelin arka ışığı polarizörden geçer ve ardından beyaz ışığı RGB üç renkli ışığa dönüştürmek için renk filtresine girer, böylece tam renkli görüntü elde edilir. LCD görüntüleme sistemlerinin uygulama türlerinden biride ince film transistörler (Thin Film Transistors) içeren TFT LCD'lerdir. Transistörler LCD panelinin iç kısmına entegre halledir ve her bir piksel için ayrı transistör kullanılır. Transistörlerin amacı piksellerden gelen

ışığın birbirine karışmasını azaltarak görüntünün daha kaliteli ve sabit olmasını sağlamaktır. Transistörler oldukça küçük oldukları için oldukça az gerilim çekerler. Bu sayede ekrandaki görüntü geçişleri oldukça hızlı olabilmektedir(38,39).

TFT LCD görüntüleme sistemleri ile dokunmatik kapasitif ekran sistemleri bir araya getirilerek tablet ekranları oluşturulmaktadır(40).

2.2.2. Dijital olarak imzaların alınmasında kullanılan yazılımlar

Son yıllarda bankacılık ve ticaret sektöründe özellikle imzadaki biyometrik verilerin kullanımı yoğun ilgi gördüğü için, dokümanlar dijital ortamlarda hazırlanarak doldurulup kişilere imzalatılmaktadır.

Bu amaçla kişilerden tablet içerisine yüklenmiş olan uygulamalar aracılığıyla gerekli dokümanların üzerine imza atılırken imzanın görseli ile birlikte kaydedilmesi zorunlu olan minimum dataların türleri ve bu amaçla kullanılacak olan cihazın sahip olması gereken azami özelliklerin neler olması gerektiği ISO 19794/7 ve ISO 19794/11 uluslararası standartlar ile belirlenmiştir (19,20,41).

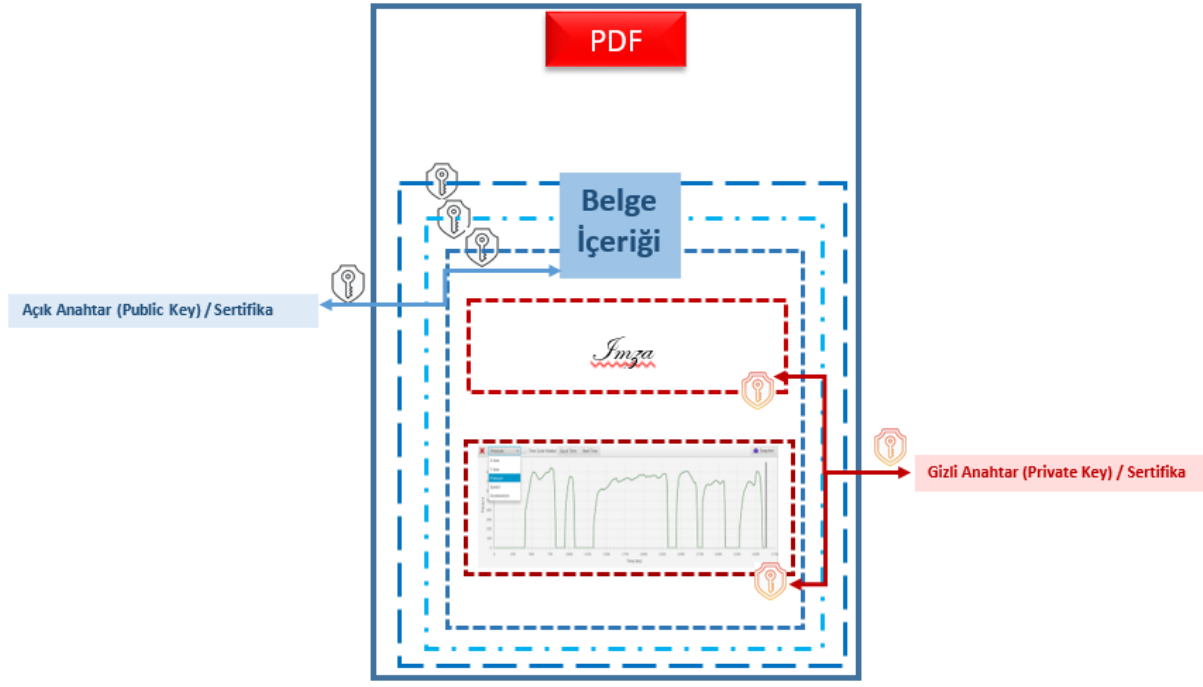
ISO 19794-7'ye göre zaman serisi biçiminde kaydedilen veri öğelerinin her biri (yakalanan, ara veya işlenmiş) veri kanalı olarak adlandırılır. Kalem ucu konumunun bulunduğu x, y ve z koordinatları, x ve y eksenleri boyunca kalem hızı ve ivmesi, zaman, zaman farkı, kalem ucu kuvveti, kalemin ekrana dokunup dokunmaması, kalemin x ve y eksenlerindeki eğimi, kalem azimutu, kalem döndürme ve kalem yüksekliği birer kanal olarak tanımlanmıştır. Bu standarda göre imza verileri farklı cihazlarla veya farklı uygulamalarla alınıyorsa mutlaka zaman kanalı olan T veya zaman farkının ölçüldüğü DT kanalının mevcut olması gerekir(19,20).

İmza verisini farklı cihazlarla yakalanan veya farklı uygulamalarda kullanılan imza/imza zaman serisi verileri, farklı kanallardan veriler içerebilir.

İmza atılmasında kullanılan donanımın özelliğine bağlı olarak kuvvet ölçümleri farklılık gösterebilmektedir (2.2.1.2. Stylus Kalemler başlığında bahsedilmiştir.). ISO 19794-7'ye göre kuvvetin gerçek değerleri, kayıt gövdesinde verilen tam sayı değerleri, kanal açıklamasında verilen ölçeklendirme değerine bölünerek elde edilmelidir. Uygun ölçeklendirme değerleri seçilerek farklı doğruluk dereceleri ifade edilmesine izin verilmektedir (19).

Aynı standart detaylı bilgileri kabul edilebilir performans seviyelerinde sağlamak için tam formattaki bir imza/imza zaman serisi veri kaydının nasıl olması gerektiğine dair asgari standartları ve imzanın alınacağı cihaz yüzeyindeki milimetre başına kaç piksel düşmesi gerektiği gibi bilgileri de içermektedir.

ISO/IEC 19794-11 dijitalleştirici tabletler, kalem tabanlı bilgi işlem cihazları veya gelişmiş kalem sistemleri gibi cihazlar kullanılarak biyometrik karşılaştırma amacıyla yakalanan, bir zaman serisinden çıkarılan işlenmiş imza/işaret davranışsal verileri için bir veri değişim formatının nasıl olması gerektiğini belirtir. İlgili terimlerin tanımlarını, hangi verilerin çıkarıldığına ilişkin açıklamaları ve verileri içerecek bir veri formatının yanı sıra, kullanıcının imzasının/işaretinin tanımlama amaçlarına uygun olup olmadığına ilişkin tavsiyeleri de içermektedir. Aynı standart içerisinde saklanan ve iletilen biyometrik verilere zaman damgası uygulanması ve bunların orijinalliğini, bütünlüğünü ve gizliliğini korumak için kriptografik tekniklerin kullanılması tavsiye edilmektedir (17,20,42).



Şekil 6. İmza verileri Açık Anahtar (Public Key) ve Gizli anahtar (Private Key) olmak üzere ikili anahtar sistemiyle güvenlik altına alınarak kaydedilir.

ISO standartlarına göre alınan imzalar asimetrik algoritmalar kullanılarak kaydedilir. İmza verileri Açık Anahtar (Public Key) ve Gizli anahtar (Private Key) olmak üzere ikili anahtar sistemiyle güvenlik altına alınır. Dijital imza içeren elektronik verinin yetkili kişi tarafından mı gönderildiğini ve dokümana herhangi bir müdahale olup olmadığının bilgileri açık anahtar ile doğrulanır. Gizli anahtar ise sadece imza sahibinin erişiminin olduğu anahtardır. Gizli anahtar kullanılarak doküman içerisindeki imza verilerine erişim sağlanabilmektedir (43).

Bankacılık, sigortacılık veya telekomünikasyon sektörlerinde elektronik dokümanların imzalanmasını müteakiben işlemlerin hızlandırılması ve güvenilirliğinin artırılması amacıyla dijital olarak alınan imzaların, işlemi gerçekleştiren personel tarafından kimi zaman doğrulanması gerekmektedir. İmzaların doğrulanması için birçok yazılım geliştirilmiştir. Yazılımların algoritmaları çeşitlilik göstermekte olup (yapay sinir ağları ile makine öğrenmesi, offline imza verileri ile piksel eşleştirme tekniği, matematiksel modelleme ile istatistiksel

doğrulama gibi) her yazılımın verdiği doğruluk oranı da değişiklik göstermektedir (13,42,44–46)

Hukuki açıdan incelenmesi gereken dijital imzalar söz konusu olduğunda doğrulama yapan yazılımlar aracılığı ile aidiyet tespitine gidilememektedir. Bu tür imzaların incelenmesi konusunda uzman bilirkişiler tarafından yapılması gerekmektedir.

2.2.3. Dijital olarak alınan imzaların hukuki boyutu

Türk Ceza Kanunu’nun 204, 205, 207, 208 ve 209 imza 1. maddelerinde “belgeyi bozmak suretiyle bir delil üzerinde veya resmi ya da özel belgede yapılan sahtecilik eylemleri” suç olarak düzenlenmiştir. Elektronik belge oluşturma, kalem ve kağıt kullanılarak imzalanan fiziksel belgelere kıyasla, dokümantasyon sürecini basitleştirerek daha düşük maliyetli hale getirirse de elektronik ortamda oluşturulan belgeler üzerine dijital olarak alınan imzaların orijinalliği de hukuki ihtilaflara konu olabilir ve bu durumda adli el yazısı incelemesi talep edilebilir (16,47).

Elektronik imza mevzuatının yürürlüğe girmesinden bu yana, dijital ve diğer elektronik imza biçimlerinin kullanımı önemli ölçüde artmıştır. Elektronik imza kavramı literatürde dijital imzayı da içine alan daha genel bir kavram olarak tanımlanmaktadır (48).

5070 numaralı Elektronik İmza Kanunu’nun 3. maddesinde bahsi geçen tanımları dijital olarak alınan imzalar birebir karşılamaktadır. Aynı kanunun 4. maddesinde bahsedildiği üzere dijital olarak alınan imzalar sahibine özgü olup, uygun ekipman ile kişi tarafından oluşturulmakta, imzayı atan kişinin tespiti nitelikli dijital sertifikalar aracılığı ile tespit edilebilmekte ve imzalı dokümana sonradan yapılan müdahaleler tespit edilebilmektedir (49).

Bunun yanı sıra literatürde elektronik belgenin Türk Ceza Kanununda tanımlanan resmi belge kavramı ile eş değer özelliklere sahip olduğu da belirtilmektedir (48,49).

Ayrıca 6098 sayılı Türk Borçlar Kanunu madde 15'te imzanın elle atılmasının zorunlu olduğu ve güvenli elektronik imzanın da, el yazısıyla atılan imzanın bütün hukuki sonuçlarını doğuracağı belirtilmektedir. Dijital olarak alınan imzalar sırasında kişiler stylus kalem aracılığı ile imzalarını attıkları için bu kanun maddesinin gerekliliğini de yerine getirmektedir (50).

Bu açıdan bakıldığında dijital imzalar kağıt üzerine atılan imzalarla aynı fonksiyona sahip olup hukuki açıdan da aynı sonuçları doğuracaktır (51).

Dolayısıyla, 5070 sayılı Kanunun 5. maddesinin 2. fıkrasında yer alan tanımlamadaki (Kanunen resmi biçimde veya özel bir işlemi zorunlu kıldığı hukuki işlemlerle birlikte bankaların teminat mektupları haricindeki teminat sözleşmeleri güvenli elektronik imza ile yapılamaz) belgeler dışındaki diğer resmi belgeler dijital olarak imzalanabilir (51,52) .

Uluslararası hukuki açıdan elektronik /dijital imzaya yönelik düzenlemelere gelince; Amerika Birleşik Devletleri yasalarında, 2000 tarihli Federal E-SIGN Yasası ile elektronik imzalar şu şekilde tanımlanmaktadır: "Elektronik imza" terimi, bir sözleşmeye veya başka bir kayda eklenen veya bunlarla mantıksal olarak ilişkilendirilen ve kaydı imzalama niyetiyle bir kişi tarafından yürütülen veya benimsenen elektronik ses, sembol veya süreç anlamına gelir(53).

Avrupa'da ise eIDAS düzenlemesi elektronik imzalar için aşağıdaki tanımları içermektedir: Elektronik imza, elektronik formdaki diğer verilere eklenen veya bunlarla mantıksal olarak ilişkilendirilen ve imza sahibi tarafından imzalamak için kullanılan elektronik formdaki veriler anlamına gelir (54).

Elle atılan imzanın güvenli bir elektronik imzayla değiştirilmesi her iki düzenlemenin de hedefi olmuştur. Her iki durumda da elektronik imzalar, imzalayanlar tarafından dijital bir belgeyi işaretlemek için kullanılan ve imzanın hem belgeyle hem de imzalayanla mantıksal olarak ilişkilendirilmesi gereken bir süreç olarak tanımlanmıştır.

2.2.4. Dijital olarak alınan imzaların Adli Belge İnceleme açısından değerlendirilmesi

Gelişen teknoloji ile birlikte Adli Belge İnceleme alanı da son yıllarda önemli ölçüde değişmektedir. Bilgisayarların, akıllı telefon ve tablet gibi mobil cihazların hızlı gelişimi ile birlikte yapay zeka uygulamalarının hızlı artışı, metin işleme ve yazdırma, görüntüleme ve görüntü işleme, yüksek kalitede doküman çoğaltma ve doküman üzerindeki sahteciliklerin tespiti de dahil olmak üzere birçok yönden Adli belge inceleme alanını da etkilemiştir (16,47).

İmza pedleri, akıllı telefonlar veya tabletlere stylus ya da parmak ucuyla atılan imzaların iş hayatında ve günlük yaşamda kullanımının artan yaygınlaşması, özellikle imza sahteciliklerini de modifikasyona uğratmış ve dolayısıyla dijital olarak alınan imzaların adli açıdan geleneksel yöntemlerden farklı bir şekilde analiz edilmesini gerektirmiştir (55).

Adli Belge İnceleme alanıyla ilgili literatürde dijital olarak alınan imzalar "dinamik imzalar" olarak da bilinmektedir (56–62). Adli Belge incelemede kullanılan geleneksel yöntemlerle imzanın tersim tarzı, işleklik derecesi, içerisinde bulunan kişiye özgü alışkanlıklar, eğimi, doğrultusu ve baskı derecesi gibi statik özellikler nitel olarak değerlendirilirken dijital olarak alınan imzaların statik özelliklerinin yanı sıra baskı sırasında uygulanan kuvvet, hızlanma ve yavaşlama gibi dinamik özelliklerin nitel olarak analizi mümkün olabilmektedir (16,42,58,63).

Dijital olarak alınan imzalama işlemi sırasında zamanlama ve basınç bilgileri gibi dinamik veriler kaydedilmektedir. Bu bilgiler imzanın görseline dayalı statik verileri içeren geleneksel

yöntemle alınan imzalarda bulunmamaktadır. Uzmanlar geleneksel olarak alınan imzalardan dinamik özellikleri elde edebilmek için çeşitli çalışmalar yapsalar da statik verilerden dinamik verilerin elde edilmesinde hala birçok belirsizlik bulunmaktadır (64–69).

Heckeroth ve grubu 2021 yılında dijital olarak yakalanan imzalar ile kağıt üzerinde kalemle oluşturulan geleneksel imzaların özellikleri açısından farklılık gösterip göstermediğini belirlemek için çalışma yapmışlardır. Seksen kişiden üç durumda imza atması istenmiştir: a) Bloknot üzerine kalemle, b) Aynı yazının aynı anda kağıt üzerinde dijital ve analog versiyonunun elde edilmesini sağlayan imza pedine iliştilmiş yapışkan not üzerinde mürekkepli kalemle, ve c) kağıt üzerinde bir kalemle. Bu ekip ilk olarak imzaların dijital yöntemle alınması ile geleneksel metotla alınması arasında karakterlerin şekli ve kalem kaldırma sayısı açısından ne ölçüde farklılık olduğunu araştırdılar. Üç farklı yazma koşulunda oluşturulan imzalarda istatistiksel olarak önemli farklılıklar olduğu, ancak bu farklılıkların incelenen özelliklerin çoğundaki etkilerinin küçük olduğu görülmüştür. Bu çalışmaya katılan belge inceleme uzmanlarının bakış açısına göre, bu farklılıklar pratikte dijital olarak alınan imzalarla geleneksel olarak alınan imzaların karşılaştırılmasını kısıtlamamaktadır. Ancak sonuçları genellerken dikkatli olunması gerektiği; çünkü farklı imza pedlerinin kullanılması ve kalem yerine parmakla atılan imzalar gibi çeşitli faktörlerin kalem ve kağıt ile atılan imzalara kıyasla daha önemli farklılıklara neden olabileceği belirtilmektedir (18).

Aynı grup çalışmanın devamında farklı özelliklere sahip imza pedleri ve bunlarla uyumlu yazılımlar kullanarak alınan imza örneklerini incelemişlerdir. 26 farklı donanım ve yazılım kombinasyonu kullanarak imzaların sayısal verileri olan konum koordinatları, kuvvet ve zaman verilerini kullanarak yaptıkları analize göre, sayısal verilerin ölçeklenmesinin yalnızca donanıma değil aynı zamanda yazılıma da bağlı olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu nedenle, verilerin birlikte çalışabilirliğini geliştirmek için bunların ISO/IEC 19794–7 standardıyla

uyumlu olmasını önermektedirler. Bu standart, sayısal imza verilerinin, kullanılan imzalama çözümünün ölçeklendirme oranlarıyla desteklenmesinin önemini vurgulamaktadır (63).

Adli belge inceleme uzmanların güvenilir bir şekilde incelemelerini yürütebilmeleri için, dijital olarak imzalar cihaz aracılığı ile alınırken belirli standartlara sahip olup çeşitli gereksinimlerin karşılanması gerektiği Čakovská ve grubunun yaptığı çalışma ile belirlenmiştir. Bu çalışmayla dijital olarak yakalanan imza teknolojilerinin donanım ve yazılım geliştiricilerine, kullanıcılara ve adli belge uzmanlarına kritik bilgileri içerecek yönerge sağlamak için bir çalışma yapmışlardır (17). İmzaya özgü dijital verilerin sağlanması yalnızca yeterli DCS yakalama donanımı ve yazılım kombinasyonları (yani DCS çözümleri) kullanılarak elde edilebileceğini belirtmişlerdir (17,19).

Dijital imza doğrulama sistemlerinden elde edilen dinamik özellikler kullanılarak adli bilim açısından çok az araştırma yapılmıştır. Örneğin Eoff ve Hammond, yalnızca hız, basınç ve kalem eğimi kullanarak gerçek örnekler sağlayan 10 yazarın bulunduğu bir popülasyonda %83 oranında doğru yazar sınıflandırması elde etmiştir. Çok az sayıda yazar değişkenlerin, kümelerin veya dağılımların ayrılmasını ayrıntılı olarak incelemiştir (70).

Konumun zamansal türevleri olan hız, ivme (acceleration) ve sarsıntı (jerk), çoğunlukla ayırt edici ve kullanışlı dinamik özellikler olarak kabul edilmekte ve genellikle biyometrik doğrulama sistemlerine dahil edilmektedirler (71) .

Literatürde dijital olarak alınan imzalarla yapılan sahtecilik çalışmalarında dinamik verilerden olan basınç verisi değerlendirildiğinde sonuçlar farklılık gösterse de (64,65,69,72) basıncın değerlendirildiği bazı güncel çalışmalar taklit imzaların basıncının ortalamasının orijinalden yüksek olabileceğini göstermiştir (73,74).

Havadaki kalem hareketleri, yalnızca dinamik imzalarda bulunan bir özelliktir. Terminolojide, “Kalem Kaldırma Hareketleri (Pen-Up Movements)”, “Kalem kaldırma (Pen lifts)” veya “Havada Hareketler (In-air Movements)” olarak geçmektedir. Yazılım terminolojisinde ise “havayı süpürme (hovering)” olarak bahsedilmektedir. Bu terimler, kalemin (veya genel anlamda yazı aracının) sayısallaştırıcı tabletle (veya yazma ortamıyla) temas halinde olmadığı andaki verileri belirtir. Havadaki hareketler genellikle bitiş noktasından başlangıç noktasına doğru devam eden düzgün doğrusal hareketler olmayıp, eğrisel ve sürekli hareketlerdir. Bu hareketlerden elde edilen veriler adli belge açısından ayırt edici olabilmektedir (75). Sesa-Nogueras ve arkadaşları BiosecurID adlı imza datasını kullanarak hem havada hem de yüzeydeki hareketlerin yazar ayrımıyla ilgili bilgiler içerebileceğini bulmuşlardır (76). Guerra-Segura ve ekibi kendi oluşturdukları imza veri tabanı ile kendi geliştirdikleri imza doğrulama sistemini elin havadaki hareketine ait verileri kullanarak test etmişler ve iyi sonuçlar elde etmişlerdir (77).

Yazma eylemi sırasında kalemlerin tablet yüzeyiyle yaptığı eğim ve azimut gibi açı değerleri de dinamik verilerden olup, yalnızca birkaç markaya ait tabletlerle veya bazı özel aksesuarlarla kaydedilebildikleri için diğer dinamik verilere nispeten nadir özelliklerdir. Apple Pencil ile birlikte kullanılan Apple iPad veya Wacom IntuosPro tablet, bu özellikleri kaydedebilen markalara örnektir (72,78). Franke, 30 yazardan oluşan bir popülasyon üzerinde kalem eğimini Wacom Intuos Pro kullanarak incelemiş ve insanların çoğunun 50° ile 60° arasında bir kalem eğimine sahip olduklarını bulmuştur (72). Fierrez-Aguilar ve diğerleri ile Lei ve Govindaraju tarafından yapılan araştırmalar, bu açısal değerlerin imza doğrulamada kullanıldığında doğrulama sisteminin dengesini bozduğunu ve daha kötü ayrımcılığa yol açtığını göstermişlerdir (79,80). Jabin ve Zareen’in yaptığı çalışma, kalem eğimlerinin ve açılarının kendi geliştirdikleri imza doğrulama sistemlerinde doğrulama oranını artırdığını gözlemlemişlerdir (81).

Linden ve Grunun yaptığı çalışmada imzaların dinamik özelliklerinin uzun vadede kararlı olup olmadığı veya kısa vadedeki değişimleri ile ilgili birçok sorunun araştırılması gerektiğini belirtmektedir (16).

3. Gereç ve Yöntem

Bu tez çalışmasına ait veri analizleri ve stylus kalem uçlarının çap ölçümleri ve görüntülenmesi İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Adli Tıp ve Adli Bilimler Enstitüsü Adli Belge İnceleme Laboratuvarı'na ait cihaz ve gereçler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Stylus kalemlerin kuvvet normalizasyon ölçümleri için gerekli olan deney sisteminin tasarımı ve kalemlerin ağırlık uygulanarak test edilmesi İstanbul Teknik Üniversitesi Fizik Mühendisliği Elektronik Laboratuvarı'nda yürütülmüştür.

Tez çalışmasının ilk aşamasında kullanılmak üzere basit, orta ve zor tersimli imzalara sahip 40 sağlıklı gönüllüden imza örnekleri alınmıştır. Bu imzalar hem içerdikleri harf karakterine hem de şekil içerme oranına göre farklılık göstermektedir (Şekil 7). Katılımcılardan 18'i kadın 22'si erkek olup yaş aralıkları 24 ile 50 yaş arasındadır. Eğitim seviyeleri lise mezunu ve üstüdür. Her bir katılımcı tek seferde 20'şer adet kendi imza örneklerini vermiş olup ilk imza örneklerini vermelerini müteakip üç ay, altı ay ve 12 aylık periyotlarda 20'şer imza daha vermişlerdir. Katılımcıların şehir dışında bulunmaları veya iş değişikliği gibi nedenlerden dolayı ilk imzalarının üstünden geçen 12 aylık sürenin sonunda müsait olamamaları nedeniyle bazı katılımcılardan 13 veya 14 ay sonra imza örnekleri alınabilmektedir. Bu imza grupları "Bulgular" başlığı altında 12+. Ay olarak ifade edilmiştir. Kişiler oturur halde, ENFHEX çalışma grubunun tavsiyesine uygun olarak elin hipotenar kısmı tablet yüzeyine değecek şekilde ve normal yazı yazma pozisyonlarında imza örneklerini vermişlerdir (82).

A			
B			
C			

Şekil 7. Farklı tersim tarzlarına sahip imza örnekleri. A: Basit tersimli imzalar; birinci ve üçüncü imzalar harf ve şekil içerirken ortadaki imza sadece şekilden ibarettir. B: Orta düzey tersime sahip imzalar olup az sayıda harf çok sayıda şekil içermektedirler

Tez çalışmasının ikinci aşamasında taklit imzalar incelenmiştir. Bu amaçla çalışmaya katılan 40 gönüllünün orijinal imza örnekleri arasından dört adet imza taklit edilecek imzalar olarak seçilmiştir. Seçilen imza örneklerinden ilki şekilden ibaret, tersimi kolay ve basit, ikincisi harf ve şekil içeren, tersimi orta düzey zorlukta, üçüncüsü harf ve imza içermesine, tersimi bir önceki gibi orta düzey zorlukta olmasına rağmen imza sahibinin imza atma becerisinin gelişmemiş ve imza atma sıklığının fazla olmamasından dolayı yavaş atılan bir imza ve sonuncu imza ise yoğun harf, buna, karşın az şekil içeren, tersimi oldukça zor bir imzadır. Bu imzalardan “Bulgular” başlığında “Basit”, “Orta”, “Yavaş-Orta” ve “Zor” olarak bahsedilmiştir.

İmzaların karmaşıklığı, tez danışmanının Adli Belge Uzmanlığındaki deneyimine göre ve toplam çizgi uzunluğu, çizgideki belirgin yön değişikliklerinin sayısı, kalem hareketinin sürekliliği ve karmaşık kalem hareketlerinin tekrarı gibi imzanın bileşenlerine dayanarak tanımlanmıştır (1).

Seçilen orijinal imza örnekleri 5 kadın ve 5 erkek katılımcı tarafından önce orijinal imza rneği önlerinde olacak şekilde bakarak tablet üzerinde taklit edilmiş; sonrasında taklit ettikleri imza örneğinin tersimini iyice kavrayacak şekilde kağıt üzerine normal kalemle birçok kez taklit etmek suretiyle orijinal imzayı çalışıp imzanın tersimine hakim olduklarına inandıkları zaman, bu kez imza örneğine bakmaksızın, tablet üzerinde serbest şekilde imzayı taklit etmişlerdir. Toplam on katılımcı bakarak 10’ar adet ve serbest olarak da 10’ar adet olmak üzere toplam 20 adet taklit imza rneği vermişlerdir. Taklit çalışmasına katılan gönüllüler ilerleyen kısımlarda kısaca “taklitçi” olarak adlandırılmıştır. Taklitçiler tersimi “Basit”, “Orta”, “Yavaş-Orta” ve “Zor” olan orijinal imza örneklerini farklı günlerde taklit etmişlerdir. Örneğin basit imza örneğini taklit eden katılımcı orta imza örneğini en az 1 hafta sonra taklit etmiştir. Buradaki amaç bir önceki taklit ettiği imza örneğinden etkilenmesinin önüne geçmektir.

Çalışmanın nc kısmında ise örneklerin alınmasında kullanılan stylus kalemlerin uçlarının yıpranmasına bağlı olarak değişmesi beklenen basınç değerleri ölçülmüş ve ölçülen basınç değeriyle uygulanan kuvvetler arasındaki korelasyon bağıntıları elde edilerek kuvvetin normalize edilmesi hedeflenmiştir.

3.1. İmza rneklerinin Alınmasında Kullanılan Donanımlar

İmza rneklerinin alımında 2000 x 1200 piksel ekran znrlkl ve veri okuma hızı 5 Hz. olan 1023 basınç hassasiyetine sahip Samsung Marka Galaxy Tab S6 Lite model tablet (Güney Kore) ve bu tabletle uyumlu pasif kapasitif özellikli stylus kalem kullanılmıştır. Tablet TFT (Thin Film Transistor) kapasitif dokunmatik ekrana sahiptir. Ayrıca tablet ekranı stylus kalemi ekran yüzeyinden 2 cm mesafeye kadar algılayabilmekte ve böylece kalemin ekran yüzeyine dokunmaksızın, 2 cm’ye kadar olan hareketine ait konum ve zaman bilgisi de kaydedebilmektedir.

Pasif kapasitif stylus kalemin uç kısmı esnek kauçuk (rubber foam) malzemeden yapılmıştır. Diğer stylus kalemlerden farklı olarak içerisinde herhangi bir elektrik devresi bulunmayıp şarj edilmesine gerek yoktur.

Samsung marka tablet ve bu tablete özel pasif kapasitif stylus kalemin bu çalışmada kullanılmasının nedeni basınca duyarlı tabletlere kıyasla daha düşük maliyetli olmaları nedeniyle hali hazırda bankacılık, telekomünikasyon ve taşımacılık gibi birçok sektörde dokümanların dijital olarak doldurulması ve imzalanmasında sık tercih edilmeleridir.

Çalışma boyunca örnekler alınırken verilerin etkilenmemesi amacıyla tablet ekranının korunması için harici olarak ince film kaplaması yapılmamıştır.

3.2. İmza Örneklerinin Alınması ve Analizinde Kullanılan Yazılımlar

İmzaların tablet üzerinden alınması, alınan imzaların deşifre edilmesi, ham datasının elde edilmesi ve sonrasında imzaya ait verilerin görsel hale getirilmesi Slovak Firması olan AnaSoft tarafından tez sürecinde ücretsiz olarak kullanımımıza izin verilen 3 farklı yazılım ile gerçekleştirilmiştir.

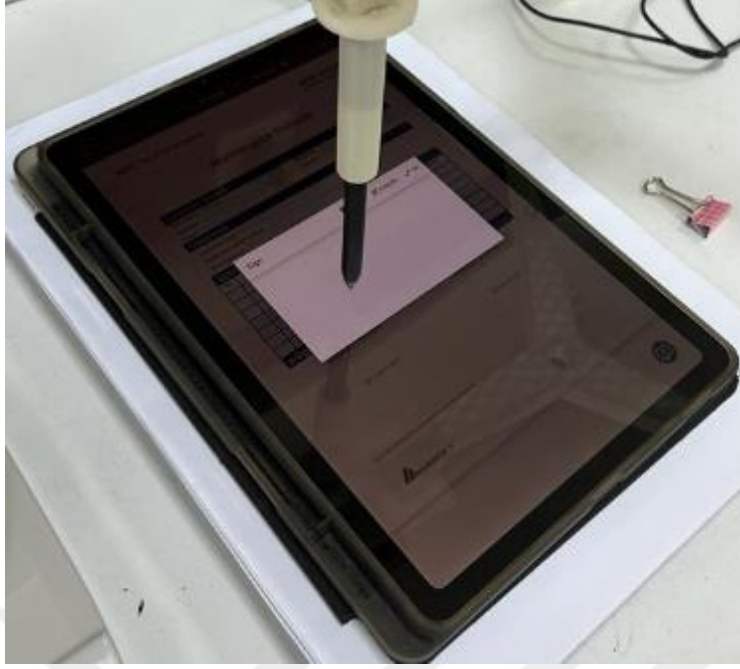
İmzanın tablet üzerinden alınıp dinamik verilerinin elde edilmesinin adımları Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8. İmzanın tablet üzerinden alınarak dinamik verilerinin elde edilmesinde kullanılan adımlar

3.2.1. İmza örneklerinin alınmasında kullanılan yazılım

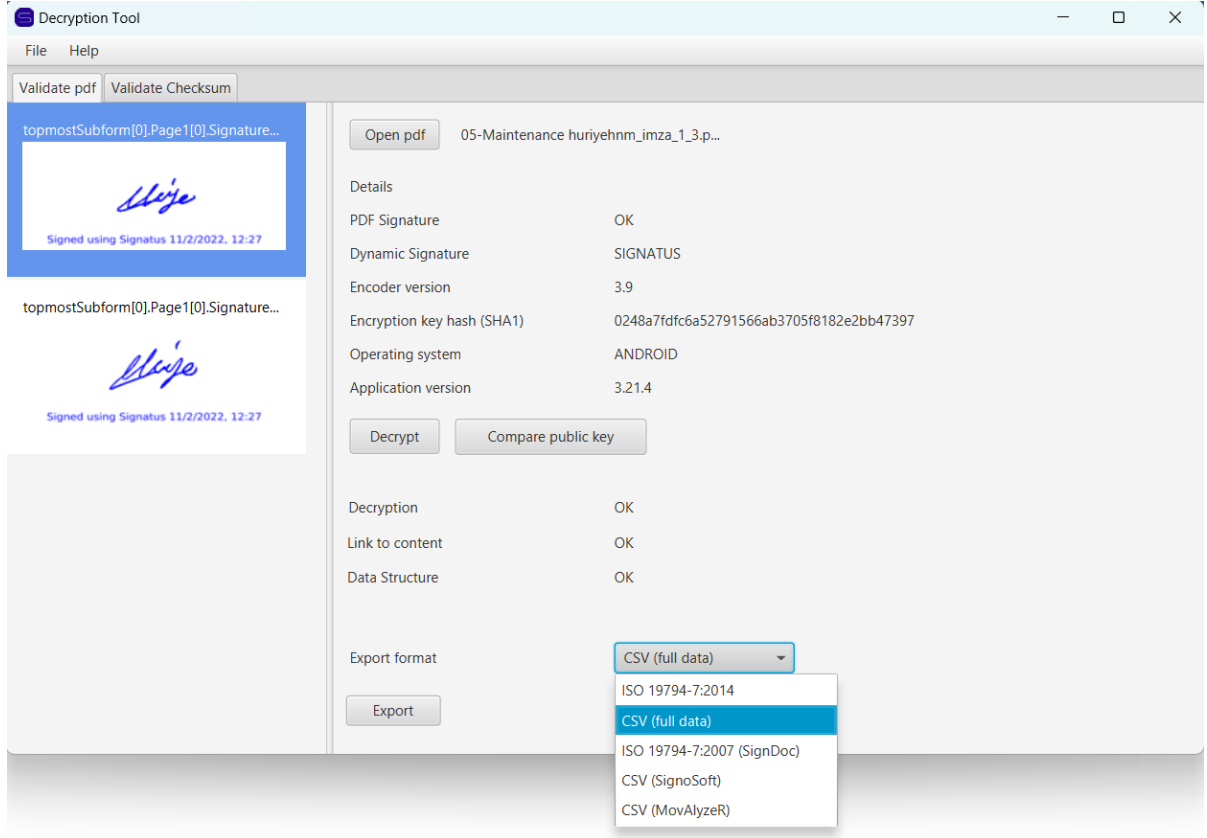
İmza örnekleri tablete yüklenmiş olan Signatus App (Anasoft, Slovakia) aracılığı ile alınmaktadır. Aplikasyonun içerisinde kullanıcının ihtiyacına göre dizayn edilmiş farklı türde, doldurulmaya müsait ve pdf formatında belge örnekleri bulunmaktadır. İstenilen pdf dokümanı seçildikten sonra imzanın atılacağı kısma tıklanması suretiyle açılan kutucuğa imza atılmaktadır (Şekil 9). Bu kutucuğun boyutu her doküman için standarttır. İmzanın belli bir alana atılması sağlanıp kutucuk dışına çıkılması durumunda imza alım işlemi yapılamamaktadır. Buradaki amaç yazılım aracılığı ile alınan tüm imzaların standart bir ebat içine atılmasını sağlamaktır. Ayrıca aplikasyon sayesinde “pdf” formatındaki dokümanda ilgili alana imza atılırken imzanın hem statik hem de dinamik verileri de tablet kanallarından alınıp dokümanla birlikte gizli anahtar (public key) ve açık anahtar (private key) sistemi ile kaydedilmektedir.



Şekil 9. Tablet üzerinden imzaların dokümana aktarılmasını sağlayan Signatus (Anasoft, Slovakia) uygulaması üzerinden imza örneğinin atılması için açılan pencere.

3.2.2. İmza örneklerinin deşifre edilmesinde kullanılan yazılım

Pdf dokümanına kaydedilen imzalar gizli anahtar şifresi girilerek deşifre programı olan Decryption Tool (Anasoft, Slovakia) aracılığı ile çözümlenmiştir (Şekil 10). Deşifre programı Windows işletim sistemi üzerinde çalışan bir uygulamadır ve imzalı PDF belgesinde saklanan imzanın dinamik verilerinin şifresinin çözülmesine ve dışa aktarılmasına izin verir. Deşifre programı bir sonraki aşama olan analiz programı ile inceleme yapılmasını mümkün kılacak formatta imza verilerinin kaydedilmesini sağlar. Deşifre programının servis sağlayıcısının sunduğu analiz programından farklı olan bir analiz programını kullanılacak ise o programa uygun formatta imza verilerinin kaydedilmesi için opsiyon sunar. Deşifre programı ayrıca Şifre çözme işlevinin yanı sıra, veri yapısının ve imzanın PDF belgesine ait olup olmadığının kontrollerinin yapılmasına da imkan verir.

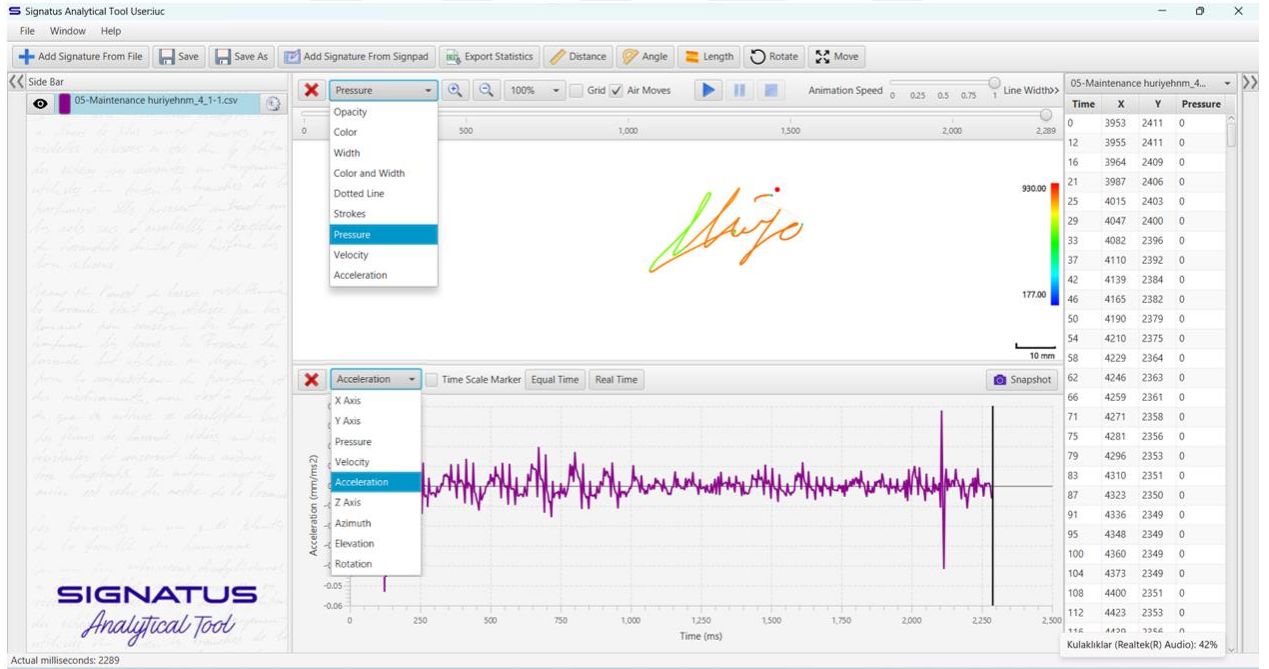


Şekil 10. İmza örneklerinin içerisindeki ham biyometrik verilerin elde edilmesini sağlayan deşifre programının ara yüzü

Deşifre edilen imza verileri incelemeyi mümkün kılacak dosya format opsiyonlarından “.csv” formatında kaydedilmiştir. Bu dosyanın içeriğinde imzanın alınma tarihi ve saati, hangi uygulama ile alındığı, imzayı almada kullanılan cihazın işletim sistemi, cihazın marka ve modeli, ekranın DPI cinsinden çözünürlük bilgisi, imzanın alınmasında çizim aracı olarak kullanılan kalem tip, x ekseninin milimetre başına düşen piksel nokta sayısı ölçeği, y ekseninin milimetre başına düşen piksel nokta sayısı ölçeği, saniyede alınan nokta sayısını belirten zaman ölçeği ve maksimum kalem kuvvetinin hassasiyet seviyesi bilgileri ile birlikte imza atılacak alanda stylus kalem imlecinin belirmesiyle birlikte cihaz tarafından okunan zaman, imlecın X ve Y konumu, uygulanan kuvvet ve ekrana dokunup dokunmadığının bilgilerini içerir.

3.2.3. İmza örneklerinin biyometrik verilerinin edilmesinde kullanılan yazılım

Deşifre programı ile elde edilen ham veriler üçüncü program olan Analyzer programı (Anasoft, Slovakia) ile hem görsel hale getirilmekte hem de imzanın oluşturulması sırasındaki toplam süre, ortalama hız, ortalama basınç, toplam imza uzunluğu, imza genişliği ve boyu bilgileri standart sapmaları gibi bilgileri bir excel dosyası içinde elde edilmektedir. Ayrıca program imzanın ham dasetindeki x ve y koordinat bilgilerinden faydalanarak imzayı görsel hale getirip imzanın animasyonunu sağlamaktadır. Kişinin imzaya özgü çekişleri oluştururken hangi noktada durduğu veya dönüş yaptığı, renklendirilmiş basınç ve ivme gibi bilgileri görsel olarak da kullanıcıya sunmaktadır. İmzanın animasyonu sırasında her bir noktadaki hız, basınç ve ivme bilgileri de grafik üzerinde görülmektedir.



Şekil 11. Signatus Analytical Tool programının ara yüzü

Tablo I. Analyzer programı aracılığı ile imza görseli dışında elde edilen 19 farklı biyometrik veri ve bu verilerin Türkçe tanımlamaları

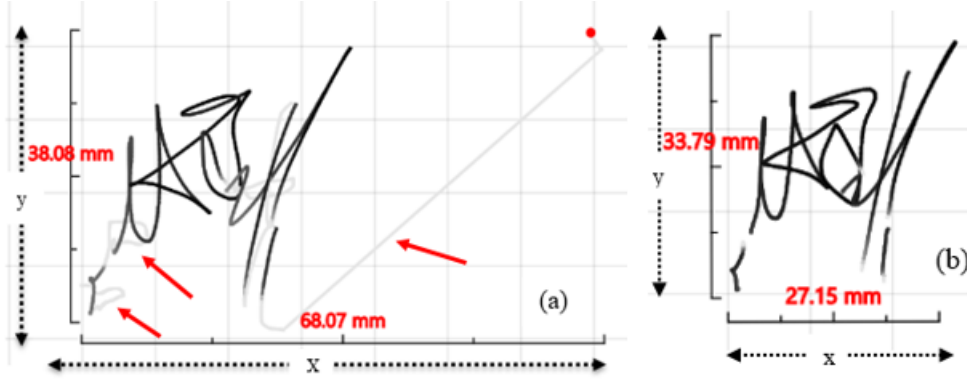
Yazılımdan Elde Edilen Biyometrik Veriler	Yazılımdan Elde Edilen Biyometrik Verilerin Türkçe Tanımlamaları
Number of Points	İmzanın oluşturulması sırasında, tüm imza boyunca tablet üzerinden verilerin alındığı nokta sayısı.
Average Speed	Bir imzanın oluşturulmaya başlamasından bitişine kadar kişinin yaptığı değişen hızlarının ortalama verisidir. Bu kavram içerisinde kalem tablet ekrana dokunduğu sıradaki hız verisi ile el kaldırılarak yapılan geçişlerdeki verilerinin ortalamasını ifade eder. Yani hem kalem tablet yüzeyinde ilerlerken x-eksenindeki hız verileri ile y eksenindeki hız verilerinin bileşkesini hem de kalemin yüzeyden uzaklaşması sırasındaki z-eksenindeki hız verilerinin de dahil olduğu bileşke hızların ortalamasını içermektedir. Birimi milimetre/ milisaniyedir.
Average Speed in Contact	Bir imzanın oluşturulması sırasında kalemin tablet yüzeyine teması boyunca elde edilen hızların ortalama verisidir. Bu veri kalem tablet yüzeyinde ilerlerken x-eksenindeki hız verileri ile y eksenindeki hız verilerinin

	bileşkelerinin ortalama değerini içerir. Birimi milimetre/milisaniyedir.
Standard Deviation Speed	Bir imzanın oluşturulmaya başlamasından bitişine kadar kişinin yaptığı farklı çekişlerdeki hızlarının ortalama verisi olarak tanımlanan “Average Speed” verisinin standart sapmasını ifade eder.
Standard Deviation Speed in Contact	Bir imzanın oluşturulması sırasında kalemin tablet yüzeyine teması boyunca elde edilen hızların ortalama verisi olarak tanımlanan “Average Speed in Contact” verisinin standart sapmasını ifade eder.
Average Pressure	Bir imzanın oluşturulması sırasında hem kalemin tablet ekrana dokunduğu sıradaki basınç verisi ile el kaldırılmalar sırasında okunan basınç verisinin ortalamasını ifade eder. El kaldırılmalar sırasında basınç değeri sıfır olarak okunduğu için her zaman “Average Pressure in Contact” verisine kıyasla daha düşük değer gösterir. Birimi piksel per inç olan ppi’dir.
Average Pressure in Contact	Bir imzanın oluşturulması sırasında kalemin tablet ekrana dokunduğu sırada elde edilen basınç verisinin ortalamasıdır. Birimi piksel per inç olan ppi’dir.

Standard Deviation Pressure	Bir imzanın oluşturulması sırasında hem kalemin tablet ekranına dokunduğu sıradaki basınç verisi ile el kaldırılmalar sırasında okunan basınç verisinin ortalaması olan “Average Pressure” verisinin standart sapmasıdır.
Standard Deviation Pressure in Contact	Bir imzanın oluşturulması sırasında kalemin tablet ekrana dokunduğu sırada elde edilen basınç verisinin ortalaması verisinin ortalaması olan “Average Pressure in Contact” verisinin standart sapmasıdır.
Total Time of Writing	Bir imzanın oluşturulması sırasında geçen toplam süre verisidir. Bu süre kavramı hem kalemin tablet ekranına dokunduğunda geçen süreyi hem de elin tablet yüzeyine değmeden yüzeye yakın hareket ettiği sırada geçen sürelerin toplamını ifade eder. Birimi milisaniyedir.
Total Time of Writing in Contact	Bir imzanın başlangıcından bitişine kadar kalemin tablet ekranı ile temas ettiği toplam süre verisidir. Birimi milisaniyedir.
Total Time of Writing Out of Contact	Bir imzanın oluşturulması sırasında elin tablet yüzeyine değmeden yüzeye yakın hareket etmesi sırasında geçen süre verisidir. Birimi milisaniyedir.

Total Line Length	İmza oluşturulurken elin havada hareket etmesi sırasında oluşan şekillerle imzanın tüm tersim hareketlerini içeren toplam uzunluğunu ifade eder. Birimi milimetredir
Line Length in Contact	İmzanın tüm tersim hareketlerini içeren toplam çizim uzunluğu verisidir. Birimi milimetredir.
Line Length Out of Contact	İmza oluşturulurken elin havada hareket etmesi sırasında oluşan şekillerin toplam uzunluğunu ifade eder. Birimi milimetredir.
Signature Height	Hem imzanın kendisinin hem de imza oluşturulurken elin havada hareket etmesi sırasında oluşan şekillerin y-eksenindeki iz düşümleri olan toplam yüksekliği belirtir (Şekil 12 (a)). Birimi milimetredir.
Signature Width	Hem imzanın kendisinin hem de imza oluşturulurken elin havada hareket etmesi sırasında oluşan şekillerin imzanın x-eksenindeki iz düşümü olan genişliğini belirtir (Şekil 12 (a)). Birimi milimetredir.
Signature Height Without Air Moves	Kalem tablet ekranı ile temas halinde iken oluşturulan imzanın y-eksenindeki iz düşümü olan yüksekliği belirtir. (Şekil 12 (b)). Birimi milimetredir.

Signature Width Without Air Moves	Kalem tablet ekranı ile temas halinde iken oluşturulan imzanın x-eksenindeki iz düşümü olan yüksekliği belirtir. (Şekil 12 (b)). Birimi milimetredir.
---	--



Şekil 12. (a) Kırmızı oklar kalemin tablet yüzeyine değmeksizin hareketini göstermektedir. (b) Kalem tablet ekranı ile temas halinde iken oluşturulan imzanın sırasıyla x ve y eksenlerindeki “Signature Width Without Air Moves” ve “Signature Height Without Air Moves”

3.3. Verilerin Analizi

Analiz programının sağladığı on dokuz veriden “Number of Points”, “Standard Deviation Pressure”, “Standard Deviation Speed in Contact”, “Standard Deviation Pressure”, “Standard Deviation Pressure in Contact” verileri bu çalışma için anlamlı bulunmadığından dolayı analiz kısmına dahil edilmemişlerdir. “Average Pressure” imzanın oluşturulması sırasında hem kalemin tablet ekrana dokunduğu sıradaki basıncı verisi ile el kaldırılmalar sırasında okunan basınç verisini içermekte olup el kaldırmalar sırasında basınç değeri sıfır olarak okunduğu için her zaman “Average Pressure in Contact” verisine kıyasla daha düşük değer gösterir. Bu yüzden “Average Pressure in Contact” verisi kişilerin basınç bilgisine dair veriyi daha iyi yansıtacağı için analizlerde tercih edilmiştir. “Total Time of Writing”, “Total Line Length”, “Signature Height” ve “Signature Width” verileri ise hem kalemin tablet ekrana dokunduğu sıradaki basıncı verisi ile el kaldırılmalarla dair bilgileri içerdikleri için analizlerde bu değerlerin toplamını analiz etmek yerine kalemin ekran ile temas ettiği “...in contact” verileri ile “... out of contact” verileri ayrı ayrı incelenmesi kişilerin imza atma karakterleri hakkında daha bilgi verici olmaları nedeniyle tercih edilmişlerdir.

Ayrıca bu çalışmanın “Kişilerin 1, 3, 6 ve 12+ Aylık Periyotlarda Alınan İmza Örneklerinin Analizi” kısmında analiz programının verdiği verilere ek olarak kişilerin imzalarının ebadında bir değişiklik olup olmadığını tespit edebilmek amacıyla stylus kalem ucunun ekranla temas halindeyken cihaz tarafından ölçümlenen imzanın en ve boy uzunlukları olan “Signature Height in Contact” ve “Signature Width in Contact” verileri aşağıdaki formülde verildiği şekli ile hesaplanarak yeni bir veri grubu olan Height ve Weight kelimelerinin harflerini içeren H/W elde edilmiştir.

$$\frac{H}{W} = \frac{\text{İmzanın Eni (Signature Height in Contact)}}{\text{İmzanın Boyu (Signature Width in Contact)}}$$

Denklem 1. İmzanın en ve boy uzunluklarının oranı kullanılarak ebadının hesaplanma formülü

Yukarıda bahsedilenlere ek olarak çalışmanın “Farklı Tersime Sahip İmzaların Taklitlerinin Analizi” kısmında taklitlerle orijinal imzaların ayrımının arttırılması amacıyla alınan nokta sayısı (Number of Points) verisi de mukayese edilecek veri olarak alınmış; ayrıca birim zamanda hız değişimini ifade eden ivme (bu çalışmada “Acceleration” olarak adlandırılmıştır) değerleri ile birim zamanda ivmedeki değişimi ifade eden sarsıntı (bu çalışmada “Jerk” olarak adlandırılmıştır) değerleri kesikli türev (discrete) ile hesaplanmıştır.

İvme değeri iki nokta arasındaki geçiş süresinin değişen hıza oranlanarak hesaplanırken Jerk değeri iki nokta arasındaki geçiş süresinin değişen ivmeye oranına göre hesaplanmıştır. İmza noktaları arasındaki geçişler için acceleration hesaplandıktan sonra Jerk hesabında gerekli olan ivme değeri için kullanılmıştır.

$$Acceleration = \frac{\Delta V (V_n - V_{n-1})}{\Delta t (t_n - t_{n-1})}$$

Denklem 2. İvme değerinin kesikli türev (discrete) ile hesaplanma formülü. ΔV : İki nokta arasındaki hız farkı, Δt : iki nokta arasındaki zaman farkı.

$$Jerk = \frac{\Delta a (a_n - a_{n-1})}{\Delta t (t_n - t_{n-1})}$$

Denklem 3. Jerk (sarsıntı) değerin kesikli türev (discrete) ile hesaplanma formülü. Δa : İki nokta arasındaki ivme farkı, Δt : iki nokta arasındaki zaman farkı.

3.3.1. Kişilerin 1, 3, 6 ve 12+ aylık periyotlarda alınan imza örneklerinin analizi

40 katılımcıdan alınan dört farklı zaman aralığında alınan 20'şer imza örneğinin çözümlenmesi ile elde edilen dinamik verilerinden Average Speed, Average Speed in Contact, Average Pressure in Contact, Total Time of Writing in Contact, Total Time of Writing Out of Contact, Line Legth in Contact ve Line Length Out of Contact ile birlikte en-boy oranı olarak hesapladığımız H/W olmak üzere toplam sekiz verinin ortalama değerleri her katılımcı için ayrı hesaplanmıştır. Örneğin 1 numaralı katılımcıdan tek seferde alınan ilk 20 imza örneği çözümlenerek her bir imza için bahsi geçen sekiz veri elde edilmiş ve ortalamaları hesaplanmıştır. Aynı işlem 3 ay, 6 ay ve 12+ ay sonra alınan imza örnekleri içinde tekrarlanmıştır. Böylece tüm katılımcıların farklı aylarda attıkları 20'şer adet imzasının aylara göre ortalama değerleri belirlenerek karakteristik bir farklılık olup olmadığına bakılmıştır.

Ayrıca her bir katılımcının bir yılı aşkın sürede verdikleri toplam 80 imza örneğinin sekiz verisinin her birinin ortalaması alınarak standart sapmaları hesaplanmış ve böylece kişilerin verilerindeki bir yıllık süredeki varyasyonu gözlemlenmiştir.

3.3.1.1. Kişilerin 1, 3, 6 ve 12+ aylık periyotlarda alınan imza verilerinin istatistiksel analizi

Kişilerin farklı zamanlara ait imza verileri üçten fazla grup olup (1., 3., 6. ve 12+. aylara ait olmak üzere her veri grubundan dörder adet bulunduğu için) normal dağılıma sahip oldukları için ve gruplar arasında görülen farklılığın hangi gruplardan kaynaklandığını anlamak için veriler ikiden çok eşlendirilmiş dizilerin karşılaştırılması kapsamında değerlendirilerek “Çoklu Eşlendirilmiş dizilerde ANOVA (Repeated Measures ANOVA)” uygulanarak farklı zamanlarda attıkları imzaların verileri arasında anlamlı bir fark bulunup bulunmadığı SPSS 26.0 aracılığı ile değerlendirilmiştir. Anlamlılık düzeyi için p değeri 0,05 olarak alınmıştır. Ayrıca, katılımcıların 1 yılı aşkın süre boyunca verdikleri tüm imzaların verilerinin ortalama ve standart sapma değerleri alınarak bir yıl içerisinde imzaların ne kadar varyasyon gösterebileceği incelenmiştir. Bunlara ilave olarak kadın ve erkek katılımcıların imzalarının verileri cinsiyet açısından kıyaslanarak aralarında bir farklılık olup olmadığı incelenmiş, Mann Whitney U ile de test edilmişlerdir.

3.3.2. Farklı tersime sahip imzaların taklitlerinin analizi

“Basit”, “Orta”, “Yavaş-Orta” ve “Zor” olan olmak üzere dört farklı tersim tarzına sahip imza örnekleri 5 kadın ve 5 erkek katılımcıdan her biri tarafından farklı günlerde taklit edilmiştir. Katılımcılar bir adet orijinal imzayı 10’ar adet bakarak ve 10’ar adet serbest olmak üzere toplam 20 kere taklit etmişlerdir. Bakarak imza taklit ettikleri sırada orijinal imza örneğine bakmalarına izin verilmiştir. Serbest olarak imzaları taklit etmeden önce ise katılımcılar imza terisimine hakim olduklarına emin olana kadar orijinal imza örneklereine çalışıp daha sonra serbest taklit imzalarını atmışlardır. Alınan taklit imza örnekleri çözümlenerek dinamik verilerinden Number of Points, Average Speed, Average Speed in Contact, Average Pressure in Contact, Total Time of Writing in Contact, Total Time of Writing Out of Contact, Line Length in Contact ve Line Length Out of Contact ile birlikte dinamik verileri kullanarak hesapladığımız H/W, Acceleration, Jerk olmak üzere toplam on bir verileri analiz edilmiştir.

3.3.2.1. Farklı tersime sahip imzaların taklitlerinin istatistiksel analizi

Tersimi farklı olan ve taklit edilen her bir orijinal imzaya özgü olan taklit imzaların istatistiği ayrı ayrı olacak şekilde SPSS 26.0 aracılığı ile yapılmıştır. Örneğin orta zorluktaki imzanın orijinal verileri ile serbest ve bakarak taklit edilen imzaları verileri birbiri ile kıyaslanmıştır. Ayrıca kadın ve erkek taklitçiler de kendi aralarında istatistiksel olarak mukayese edilmiştir.

Veri grupları parametrik olmadığı ve taklit imza verileri (orijinal, bakarak ve serbest taklit imza verileri olmak üzere) üç gruptan oluştuğu için Kruskal-Wallis testi tüm grupların verilerine aynı anda uygulanmıştır. Gruplar arasında anlamlı fark olduğu belirlenince grupların ikili olarak birbiri ile karşılaştırılmasında Mann Whitney U testi kullanılmıştır. Testlerde anlamlılık düzeyi için p değeri 0,05 olarak alınmıştır.

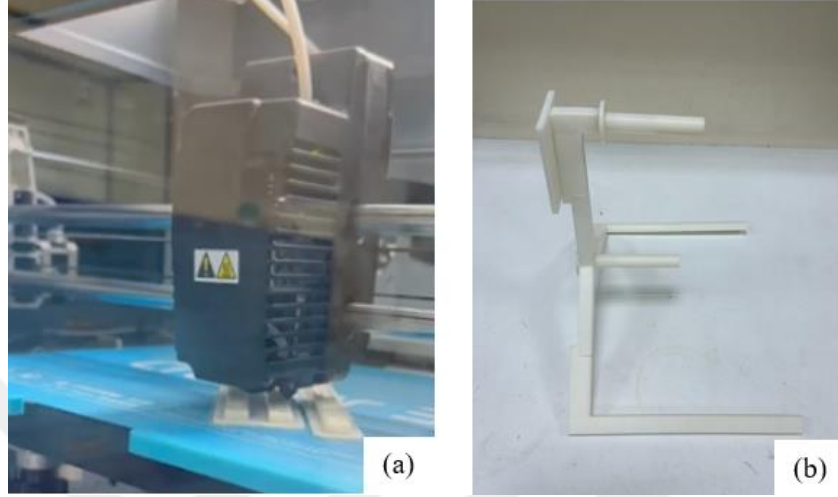
3.3.2.2. Taklitçilerin bireysel değerlendirilmesi

Adli Belge açısından aidiyeti sorgulanan imza incelemesi söz konusu olduğunda kişilerin bireysel verilerinin değerlendirilmesi önemlidir. Bu amaçla, taklitçilerin kendi orijinal imza verileri ile taklit olarak attıkları imzalar ve taklidi yapılan farklı tersimdeki imza örneklerinin orijinal verileri bir araya getirilerek karşılaştırılmıştır.

3.4. Stylus Kalem Uçlarının Kuvvet Normalizasyonu Ölçümleri

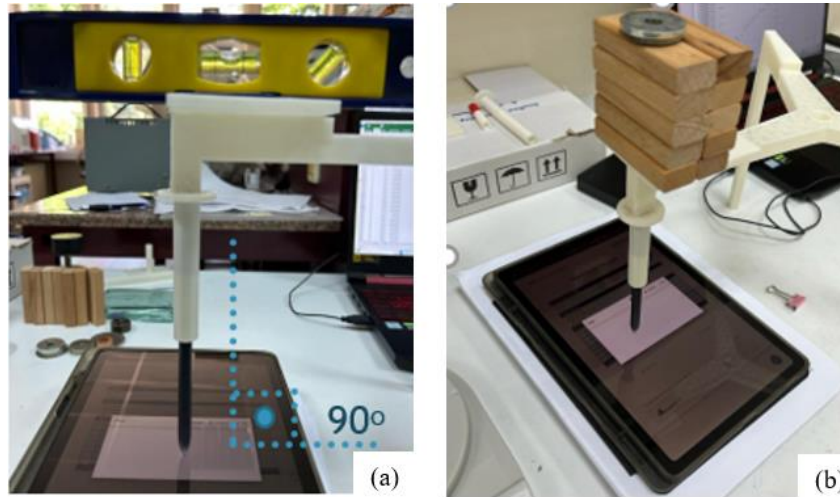
Tablet üzerine imza örneklerinin alımında kullanılan tabletle uyumlu Stylus kalem ve kullanılan tablet, dinamik verilerden en önemlisi olan basınç değerini tabletin hassasiyetiyle orantılı olarak göreceli ölçmektedir. ISO/IEC standartları gereği tablettten ölçülen basınç verisinin basıncın oluşmasını sağlayan kuvvet (Newton) cinsinden olması gerekmektedir (19). Bu amaçla uygulanan kuvvetler ölçülen basınç hassasiyeti arasındaki korelasyonu belirlemek amacıyla

tabletle uyumlu farklı aşınma seviyesinde uçlara sahip stylus kalemlere uygulanan ağırlıklara göre basınç değerlerini ölçecek deney düzeneği tasarlanmış ve 3 boyutlu yazıcıda bastırılmıştır (Şekil 13).



Şekil 13. (a) Deney düzeneğinin parçalarının 3 boyutlu yazıcıda bastırılması (b): Deney düzeneğinin parçalarının birleştirilmiş hali.

Kaleme uygulanan ağırlığın yüzeye tam olarak iletilebilmesi için kalem tablet yüzeyine 90° ’lik açı ile konumlandırılmış ve üzerine ağırlığı bilinen kütleler sırasıyla yerleştirilmiştir.



Şekil 14. Kalemin yüzeye 90° ’lik açı ile temas etmesi su terazisi ile doğrulanmış (a) ve farklı ağırlığa sahip kütleler sırasıyla kalem üzerine yüklenmiştir (b).

Kalemlerin üzerine önce artan ağırlıklar uygulanmış ve her seferinde tabletin okuduğu basınç değerleri kaydedilmiş; daha sonra yüklenen ağırlıklar azaltılmış ve her azaltma sonrası tabletin okuduğu basınç değerleri kaydedilmiştir. Tablet üzerinden alınan veriler analiz edilip basınç verileri elde edilmiştir. Tablet tarafından okunan basınç değerleri ile uygulanan ağırlıklar arasındaki normalizasyon eğrisi elde edilerek bu iki veri arasındaki korelasyon bağıntısı hesaplanmıştır.

İmza örneklerinin alımında kullanılan stylus kalem pasif kapasitif özellikte olup uç kısmı esnek kauçuk (rubber foam) malzemeden yapılmıştır. Kalemın uzun süre kullanımından dolayı uç kısmının yıpranması tablet yüzeyinden ölçülen basınç değerini etkileyebileceği düşünüldüğünden yıpranmamış (hiç kullanılmamış), az yıpranmış ve çok yıpranmış kalem uçları için de aynı ölçümler gerçekleştirilmiş, normalizasyon eğrileri çizilerek uygulanan ağırlıklar ile ölçülen basınç değerleri arasındaki korelasyon bağıntıları elde edilmiştir. Kalem uçlarının yıpranması VSC 8000 (Foster Freeman, UK) cihazı ile 20 kat büyütme altında görüntülenmiş ve kalem çapları ölçülmüştür. Yaklaşık 5000 kez farklı şekiller ve yazılar oluşturmada kullanılan stylus kalem ucu “çok yıpranmış” olarak tabir edilirken yaklaşık 600 kez farklı şekiller ve yazılar oluşturmada kullanılan kalem ucu da “az yıpranmış” olarak çalışmada adlandırılmıştır.

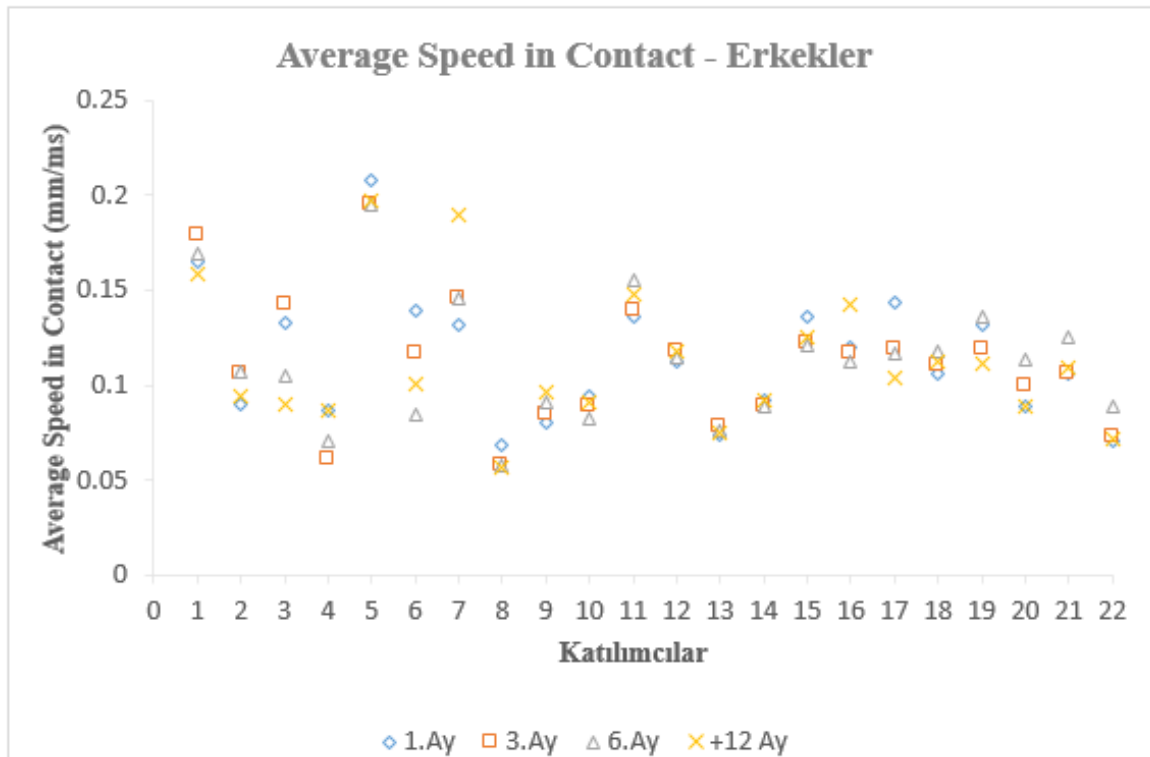
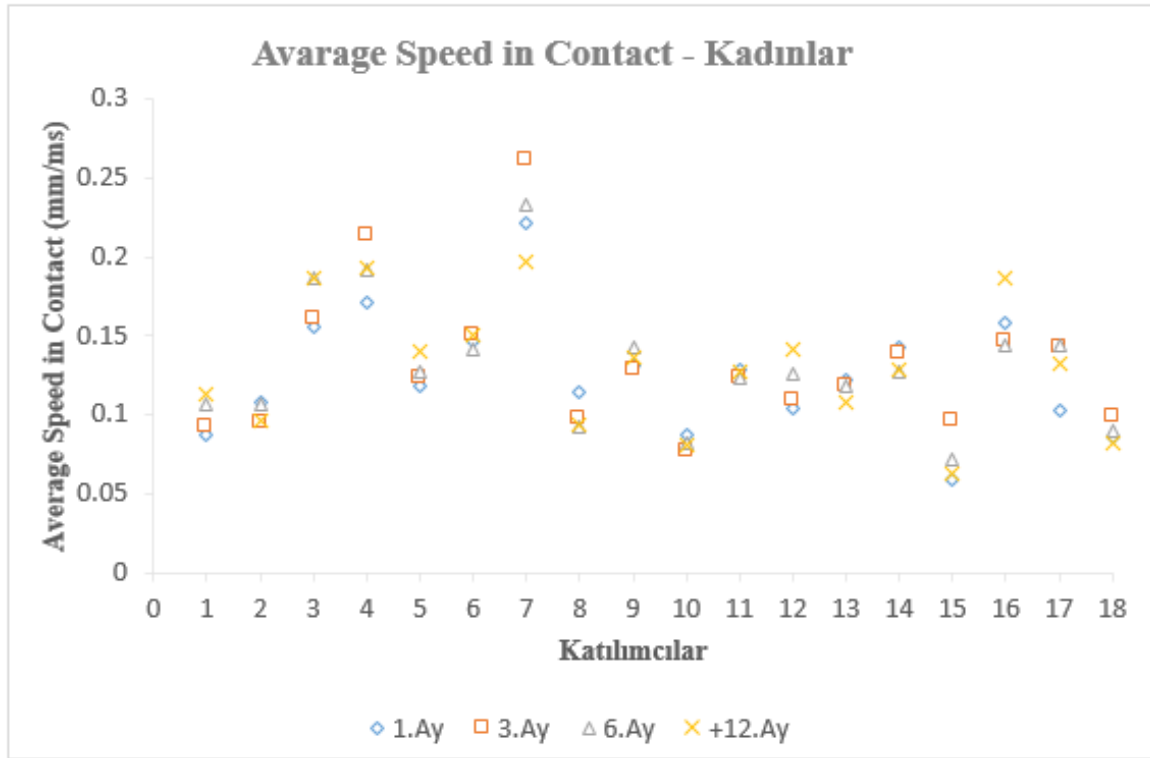
4. BULGULAR

4.1. Kişilerin 1, 3, 6 ve 12+ Aylık Periyotlarda Alınan İmza Örnekleri

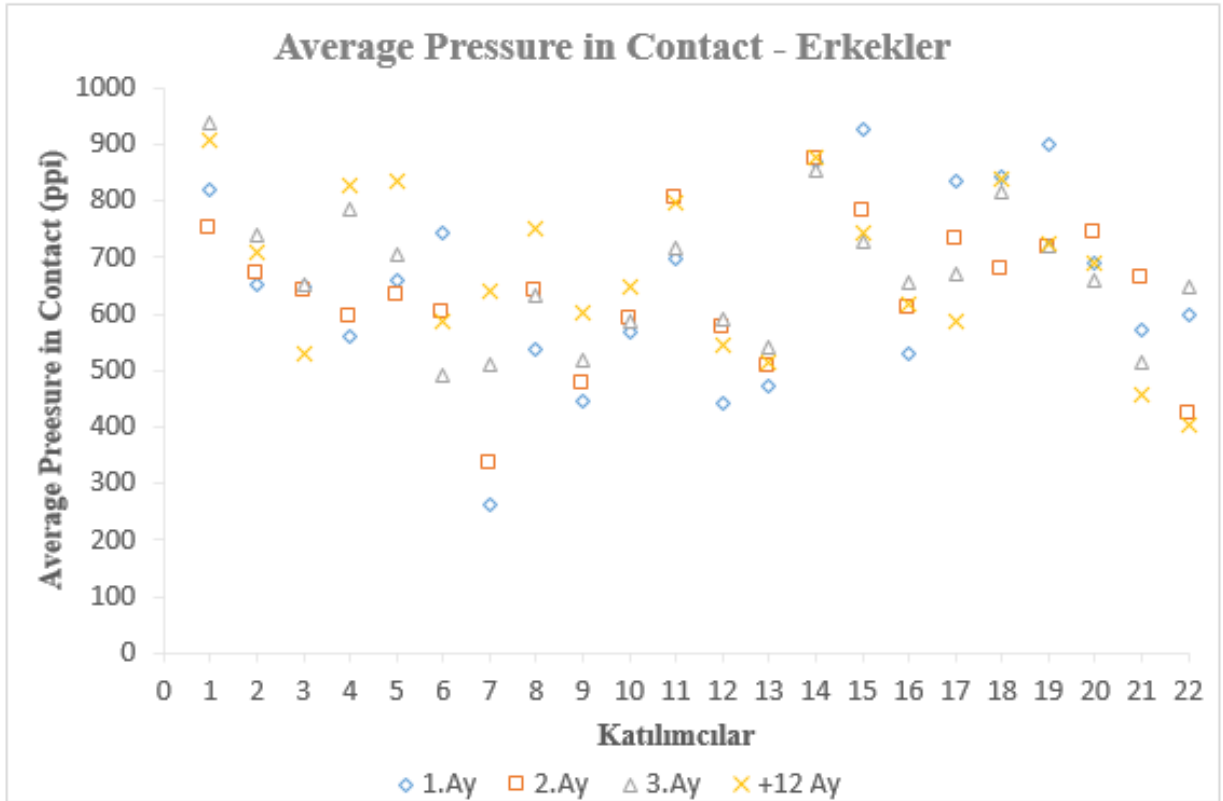
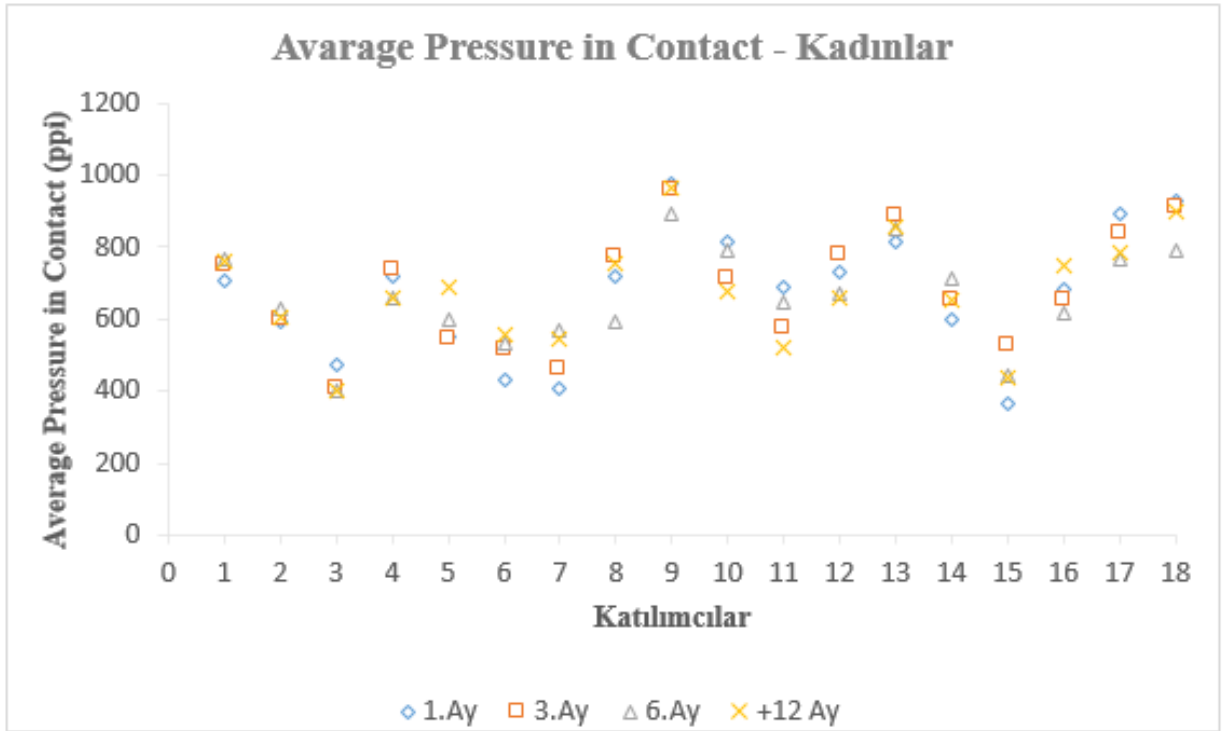
Katılımcıların bir yılı aşkın sürede farklı zaman dilimlerinde dijital olarak alınan imzalarının dinamik verileri olan Average Speed, Average Speed in Contact, Average Pressure in Contact, Total Time of Writing in Contact, Total Time of Writing Out of Contact, Line Legth in Contact, Line Length Out of Contact ve imzaların x ve y eksenlerine iz düşümleri olan en ile boy uzunluklarını birbirine oranlayarak hesapladığımız H/W verileri olmak üzere toplam sekiz verisi incelenmiştir. Verilerin her birinin ortalama değeri her katılımcı için ay bazında hesaplanarak bu verilerinde farklılaşma olup olmadığına dair inceleme yapılmıştır.

Şekil 7'den Şekil 14'e kadar olan grafikler kadın ve erkek katılımcılar için farklı zamanlarda ölçümlenen bahsi geçen verilerin ortalama değerlerini göstermektedir. Kişilerin farklı aylardaki verilerinin ortalama değerleri incelendiğinde karakteristik bir değişim söz konusu olmayıp verilerdeki farklılaşma rastgele olduğu görülmüştür.

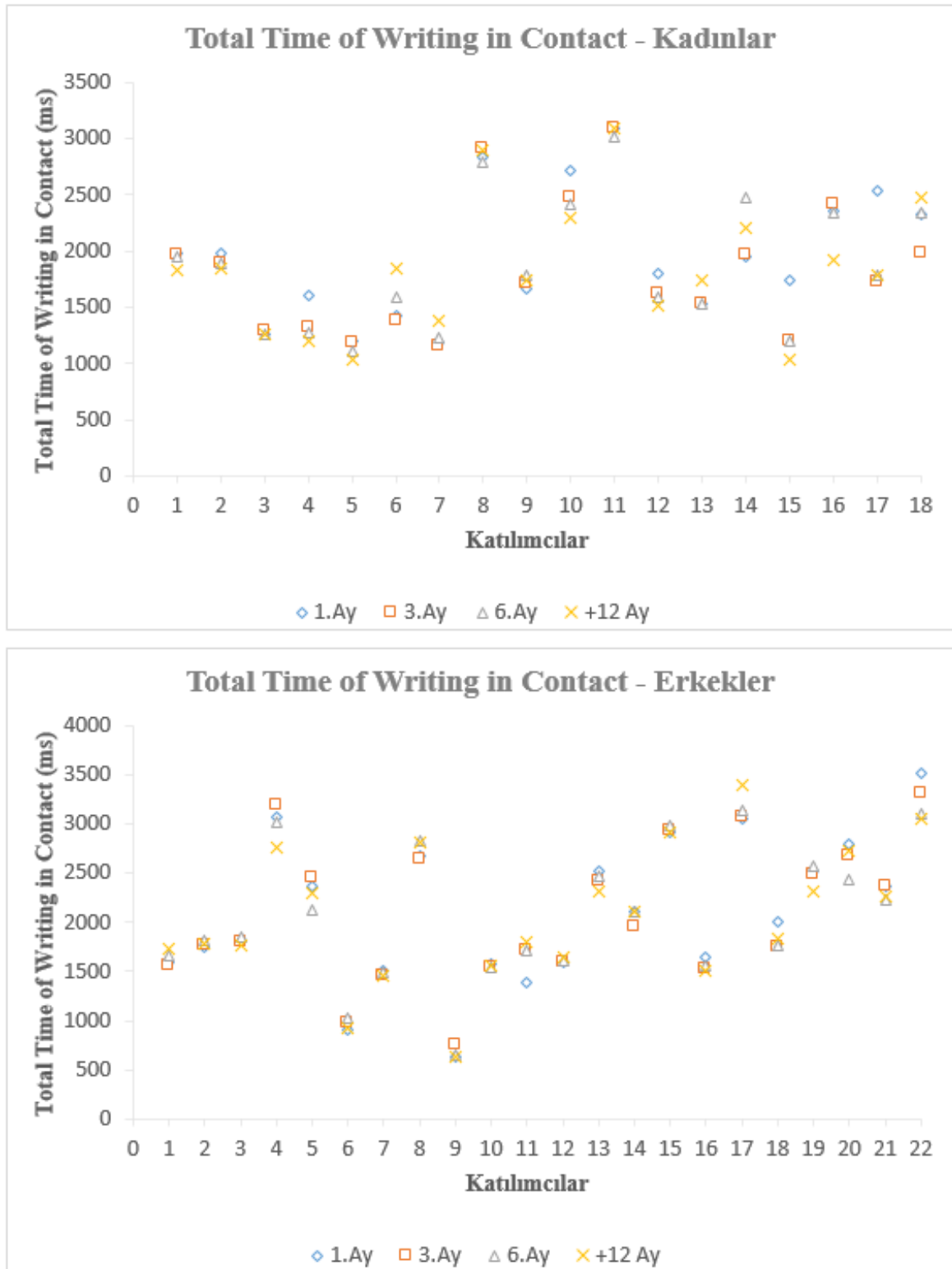
Kişilerin imza çalışmaya sağladıkları ilk imza örnekleri ile bir yıl kadar sonra attıkları imzaların Average Speed, Average Speed in Contact, Average Pressure in Contact, Total Time of Writing in Contact Total Time of Writing Out of Contact, Line Legth, Line Length Out of Contact ve H/W verilerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığı incelenmiştir.



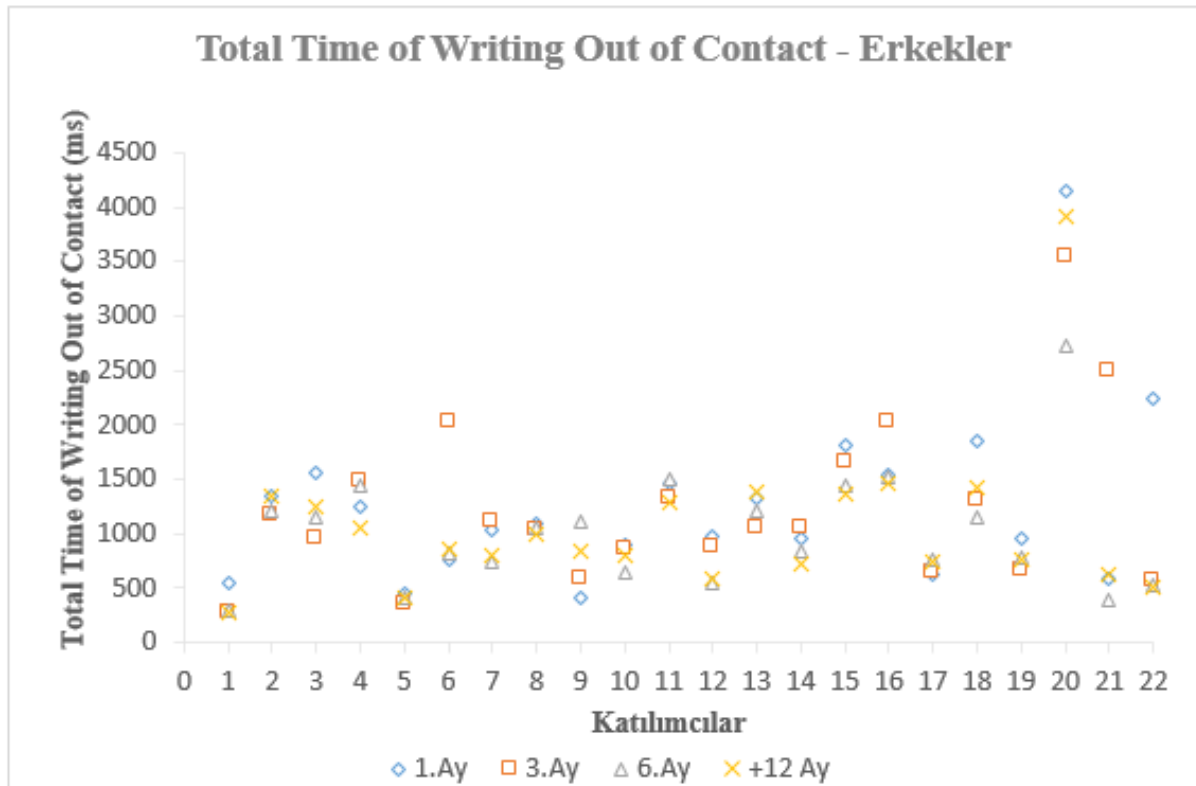
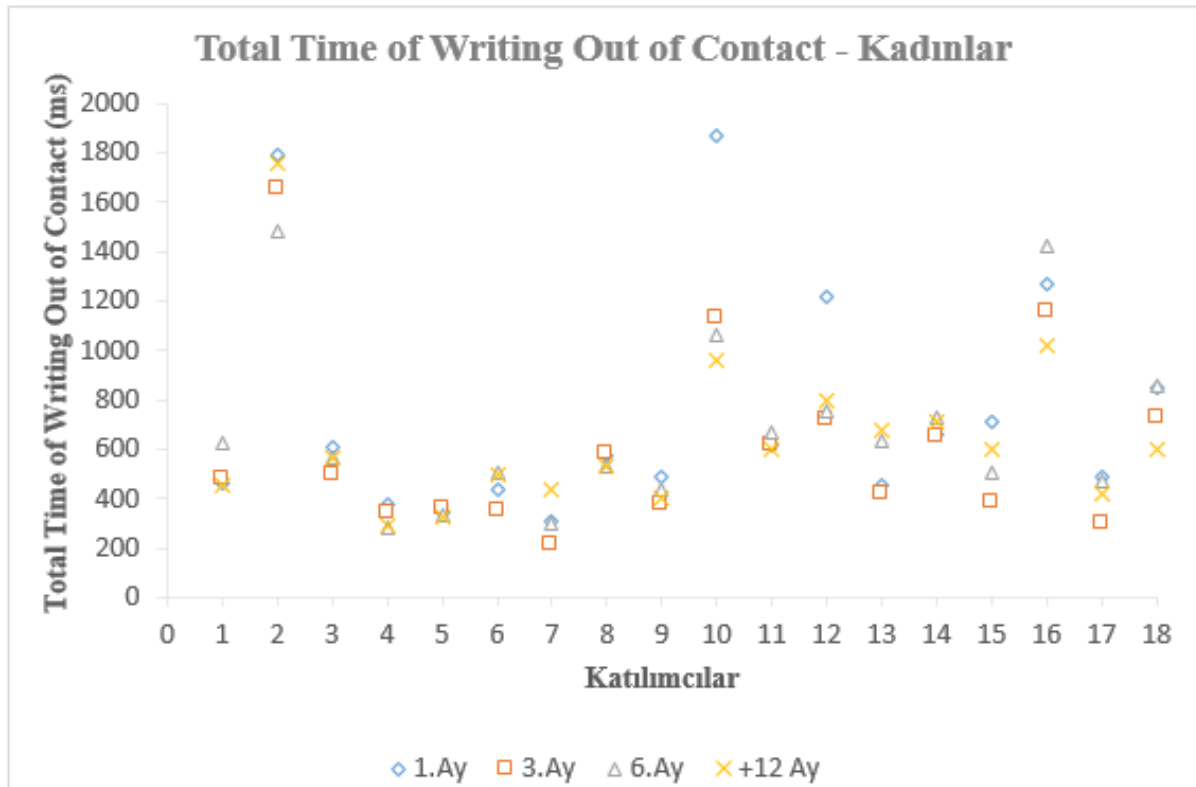
Şekil 15. Kadın ve erkek katılımcıların stylus kalem tablet ekranı ile temas halinde iken Ortalama Hız (Average Speed in Contact) değerlerinin ortalamasının aylara göre değişimi.



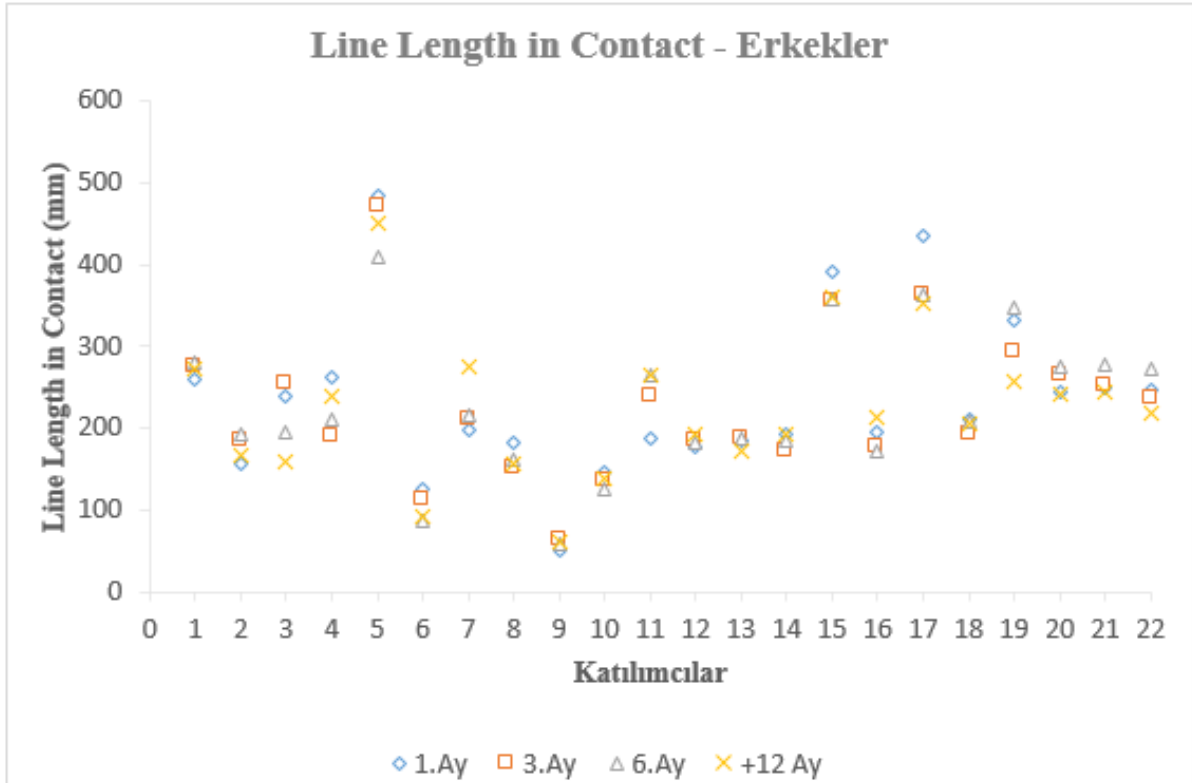
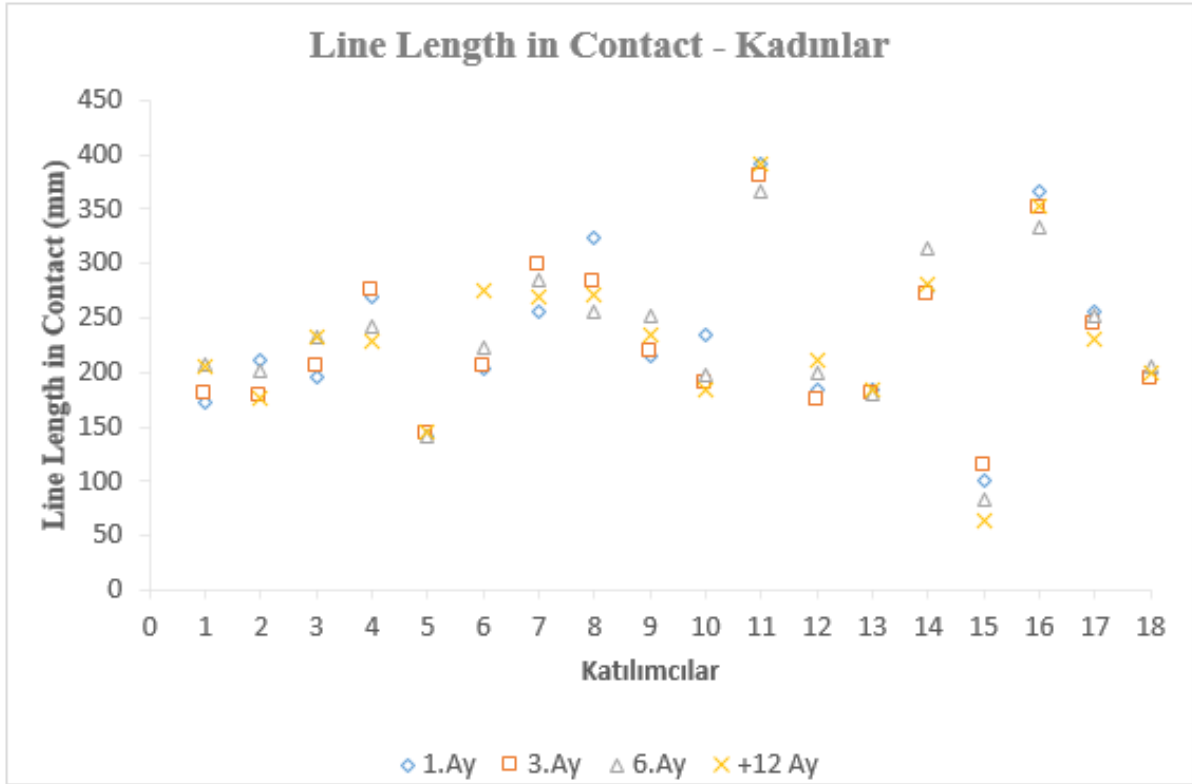
Şekil 16. Kadın ve erkek katılımcıların stylus kalem ve tablet ekranı temas halinde iken Ortalama Basınç (Average Pressure in Contact) değerlerinin ortalamasının aylara göre değişimi.



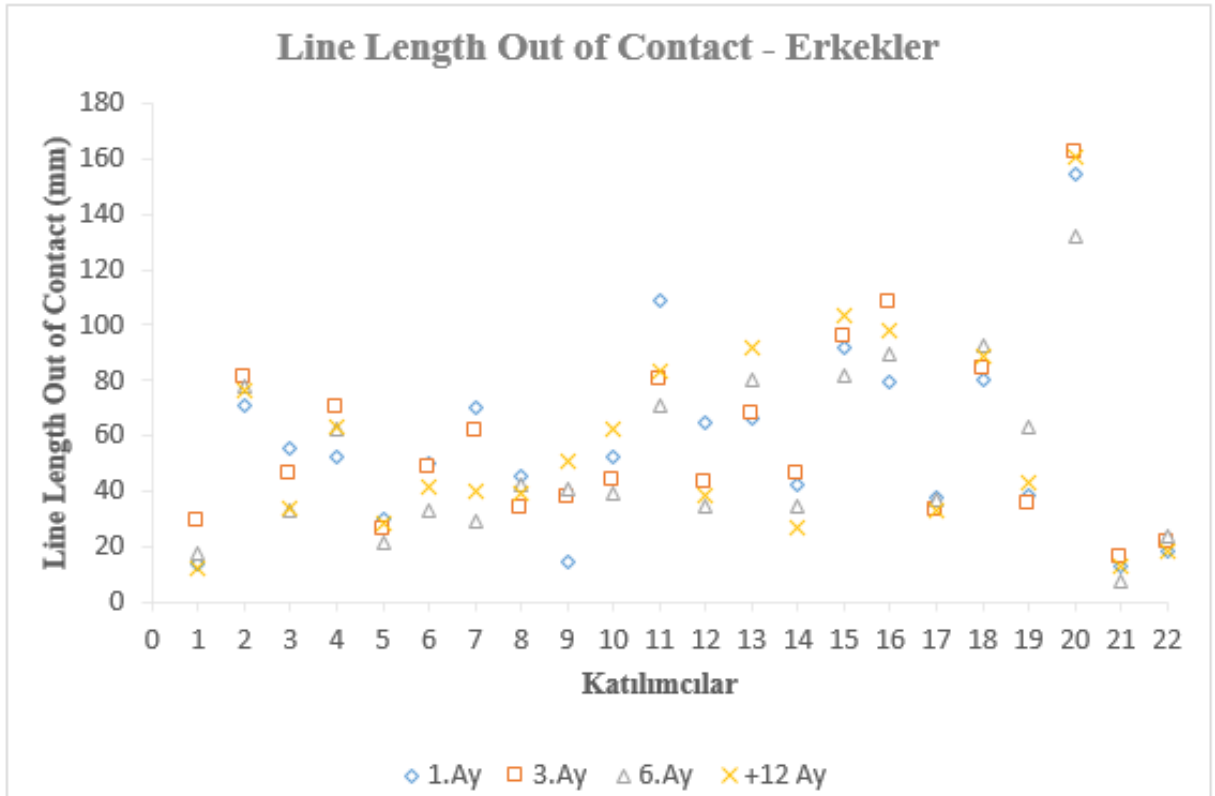
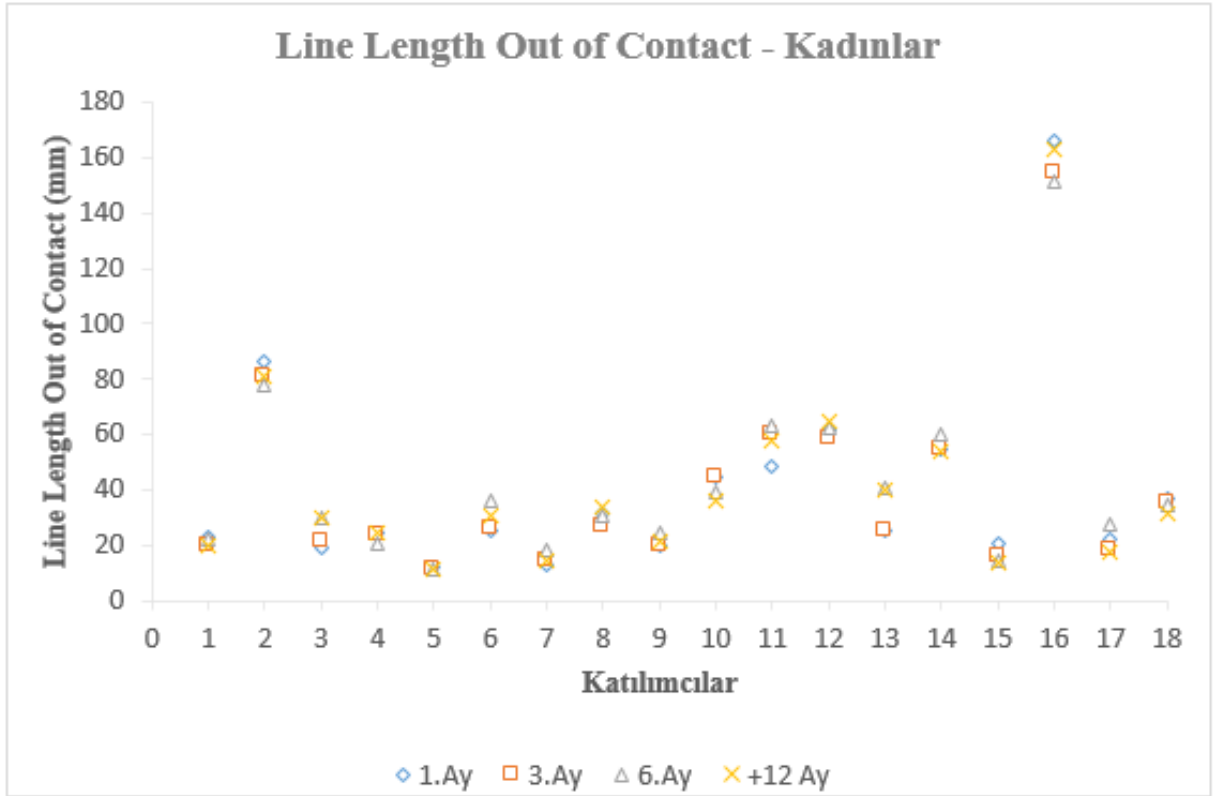
Şekil 17. Kadın ve erkek katılımcıların stylus kalem ve tablet ekranı temas halinde iken ortalama imza atma süresinin(Total Time of Writing in Contact) ortalamasının aylara göre değişimi.



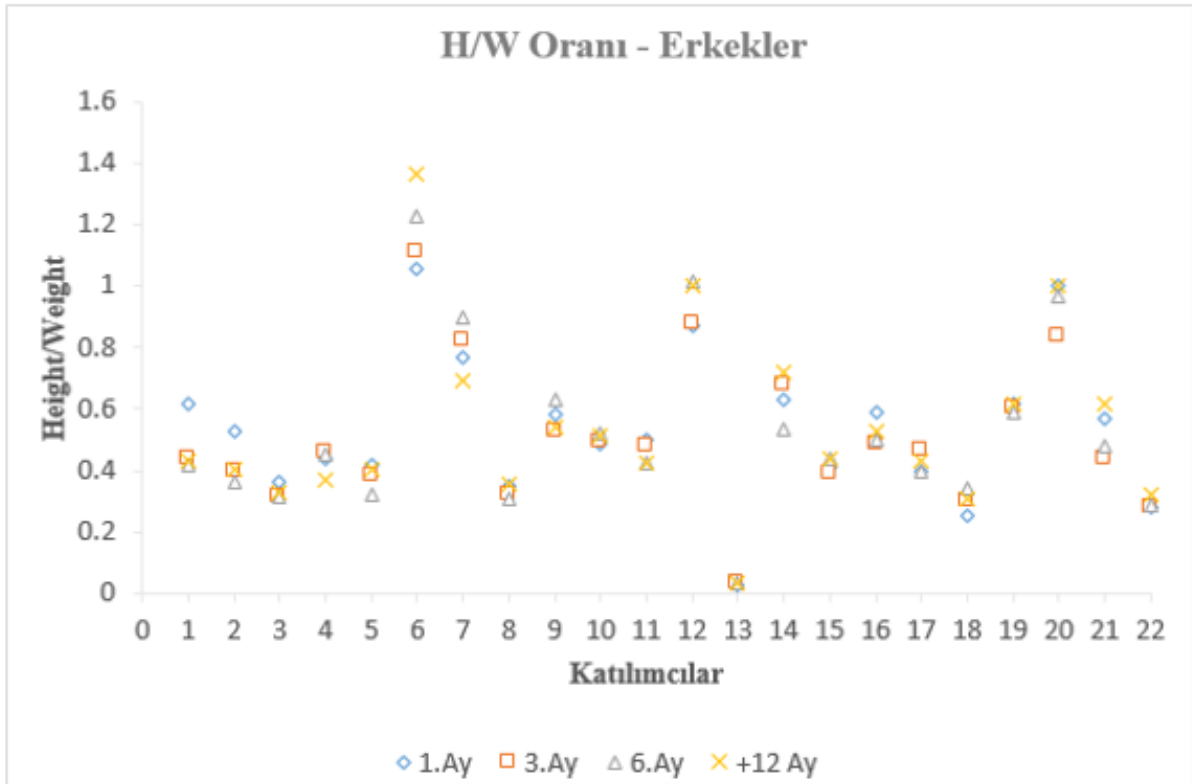
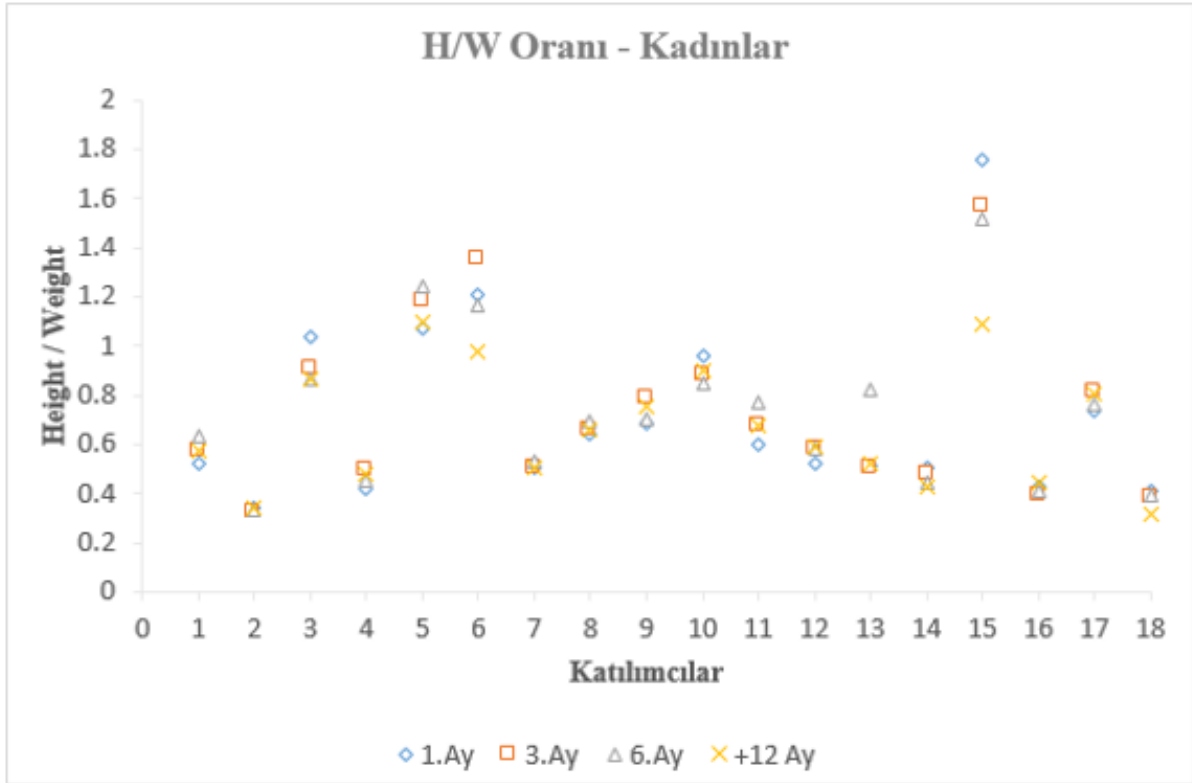
Şekil 18. Kadın ve erkek katılımcıların stylus kalem tablet ekranı üzerinde olup temassız halde iken ortalama imza atma süresinin(Total Time of Writing out of Contact) ortalamasının aylara göre değişimi.



Şekil 19. Kadın ve erkek katılımcılar için stylus kalem ve tablet ekranı temas halinde iken toplam imza uzunlarının (Line Length in Contact) ortalamasının aylara göre değişimi.



Şekil 20. Kadın ve erkek katılımcıların stylus kalem tablet ekranı üzerinde olup temassız halde iken toplam imza uzunlarının (Line Length out of Contact) ortalamasının aylara göre değişimi.



Şekil 21. Kadın ve erkek katılımcılar için stylus kalem ve tablet ekranı temas halinde iken imzaların enlerinin boylarına olan oranının (H/W) ortalamasının aylara göre değişimi.

4.1.1 Kişilerin 1, 3, 6 ve 12+ aylık periyotlarda alınan imza verilerinin ANOVA testi ile karşılaştırılması

Kişilerim farklı zamanlara ait imza örneklerinin verilerine “Çoklu Eşlendirilmiş dizilerde ANOVA (Repeated Measures ANOVA)” testi kullanılarak istatistik analizi yapılmıştır. Çoklu Eşlendirilmiş dizilerde ANOVA analizinin sonuçları Tablo II ve Tablo III’de verilmiştir. Tablolarda F değeri ANOVA sonucunda hesaplanmış, p değeri için anlamlılık düzeyi 0,05 olarak alınmıştır.

Buna göre, kişilerin yalnız 12+. Aydaki “Total Time of Writing Out of Contact” verisi 1. ay’a göre istatistiksel olarak farklılık göstermiş ve azaldığı saptanmıştır ($p=0,05$). Diğer özelliklerin de aylar arasında istatistiksel olarak fark saptanmamış; zamana göre değişmediği görülmüştür.

Tablo II. ANOVA analizi ile katılımcılardan alınan imza örneklerinin “Average Speed”, “Average Speed in Contact” ve “Average Pressure in Contact” verilerinin aylara göre mukayesi.

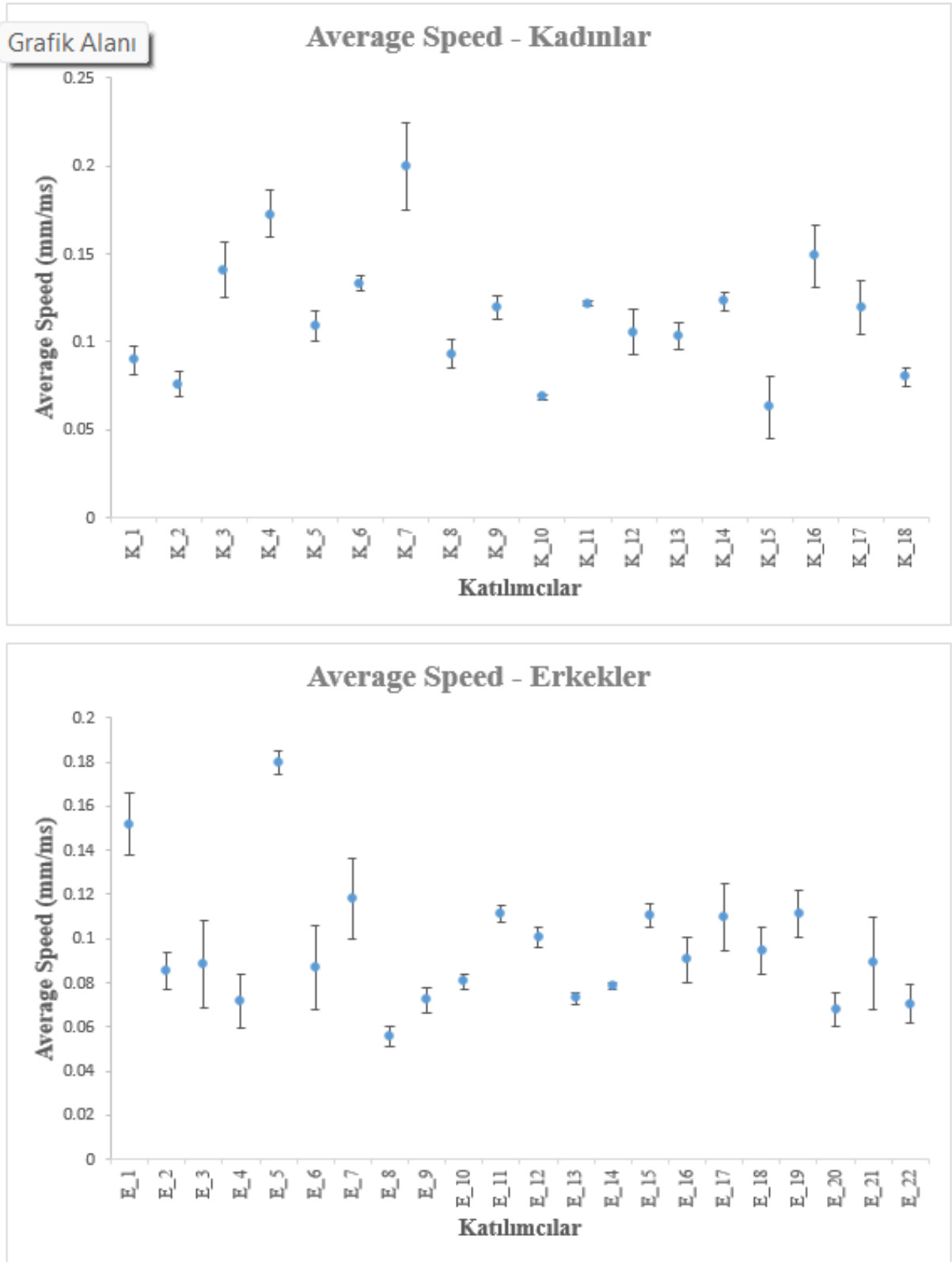
Veri Adı		1. ay	3. ay	6. ay	12+.ay	F	p
Average Speed (mm/ms)	Ortalama	0,10	0,11	0,11	0,11	0,89	0,4471
	Std. Sapma	0,03	0,04	0,03	0,03		
	Minimum	0,05	0,05	0,05	0,05		
	Maksimum	0,19	0,23	0,20	0,18		
Average Speed in Contact (mm/ms)	Ortalama	0,12	0,12	0,12	0,12	0,20	0,8985
	Std. Sapma	0,04	0,04	0,04	0,04		
	Minimum	0,06	0,06	0,06	0,06		
	Maksimum	0,22	0,26	0,23	0,20		
Average Pressure in Contact	Ortalama	659,14	658,16	665,55	675,32	0,46	0,7120
	Std. Sapma	172,88	143,06	123,01	143,09		
	Minimum	263,00	333,17	402,50	402,50		
	Maksimum	975,10	959,40	937,00	964,50		

Tablo III. ANOVA analizi ile katılımcılardan alınan imza örneklerinin “Total Time of Writing in Contact”, “Total Time of Writing Out of Contact (ms)”, “Line Length in Contact (mm)”, “Line Length Out of Contact (mm)” and “H/W Ratio” verilerinin aylara göre mukayesi.

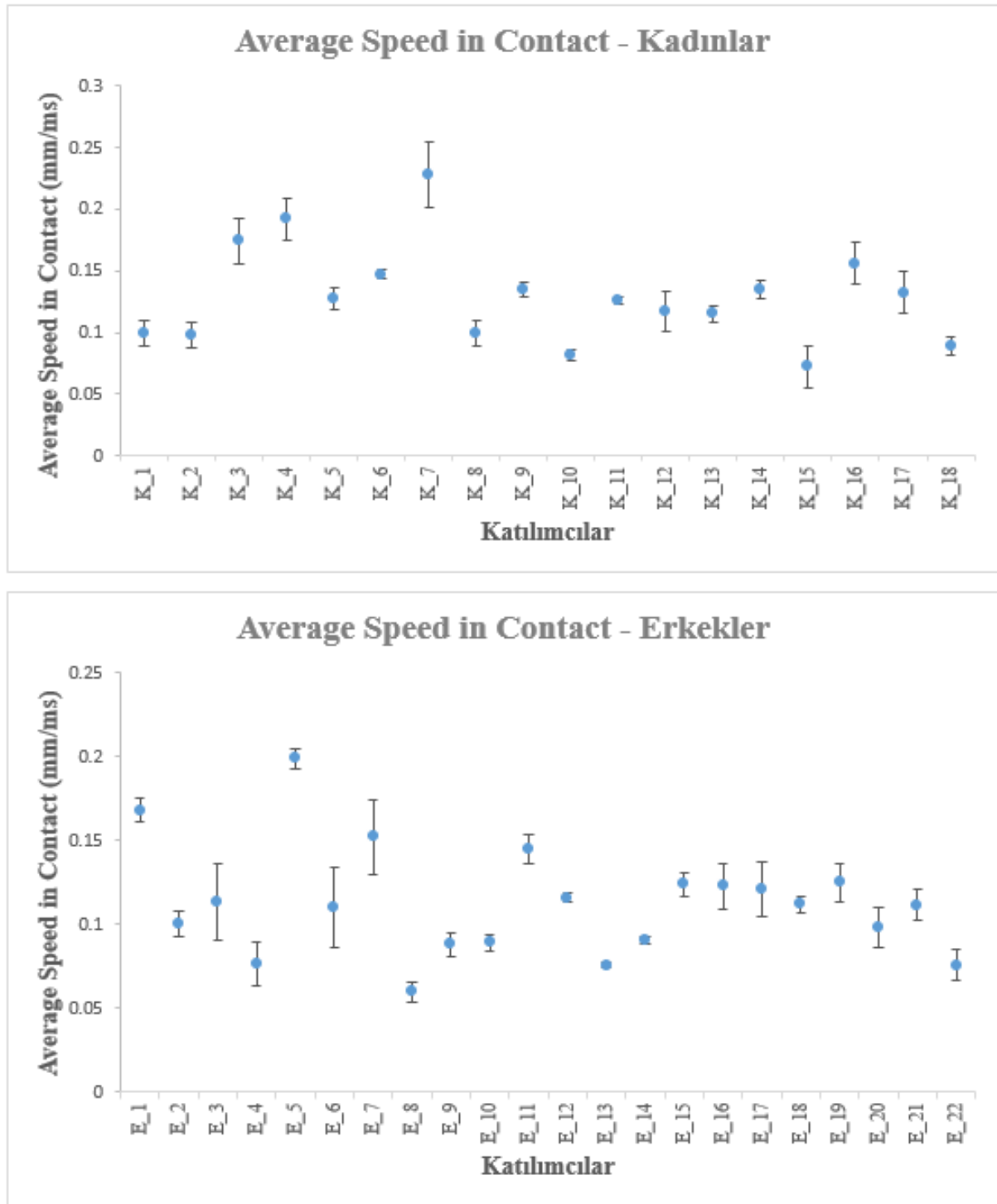
		1. ay	3. ay	6. ay	12+. ay	F	p
Total Time of Writing in Contact (ms)	Ortalama	2036,79	1969,44	1982,66	1967,97	2,11	0,1030
	Std. Sapma	666,09	660,44	638,32	648,82		
	Minimum	640,30	756,75	656,86	638,30		
	Maksimum	3518,88	3312,50	3132,20	3399,10		
Total Time of Writing Out of Contact (ms)	Ortalama	1034,05	950,62	861,53	875,83¹	3,10	0,0294
	Std. Sapma	717,81	685,77	484,28	614,75		
	Minimum	310,50	214,07	280,67	278,00		
	Maksimum	4150,25	3552,33	2719,30	3907,40		
Line Length in Contact (mm)	Ortalama	233,48	226,42	230,20	226,67	0,96	0,4151
	Std. Sapma	88,83	80,77	79,34	81,25		
	Minimum	50,99	63,37	59,72	60,57		
	Maksimum	484,58	470,77	409,83	450,60		
Line Length Out of Contact (mm)	Ortalama	49,71	49,61	47,83	49,92	0,56	0,6392
	Std. Sapma	35,54	35,07	31,58	36,35		
	Minimum	12,02	11,87	7,84	11,33		
	Maksimum	166,09	161,95	151,40	162,68		
H/W Ratio	Ortalama	0,61	0,61	0,62	0,60	0,55	0,6506
	Std. Sapma	0,31	0,31	0,31	0,27		
	Minimum	0,03	0,04	0,03	0,03		
	Maksimum	1,76	1,57	1,52	1,37		

4.1.2. Her bir katılımcının imza verilerinin 12+ aylık süre içerisindeki değişimleri

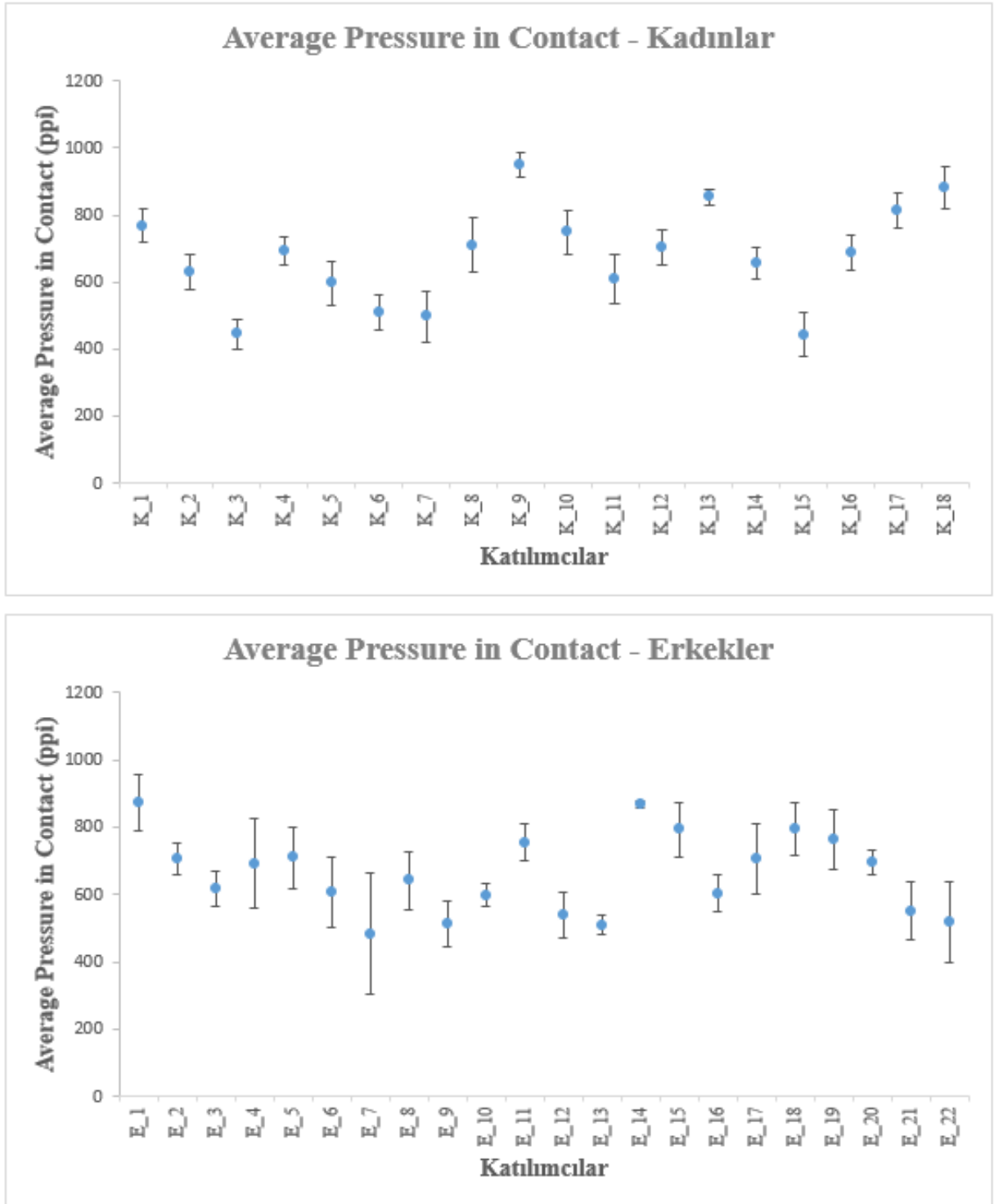
Herhangi bir kişinin imzası zaman içerisinde farklılaşarak varyasyon göstermektedir. Bu varyasyon klasik kağıt kalem temelli incelemelerde statik verilerden olan imzanın tersimine bakılarak tespit edilebilmektedir (Şekil 1). Dinamik verilerdeki varyasyonun nasıl olabileceğini anlayabilmek için katılımcılardan farklı zamanlarda alınan imza örneklerinin dinamik verileri olan Average Speed, Average Speed in Contact, Average Pressure in Contact, Total Time of Writing in Contact Total Time of Writing Out of Contact ile birlikte diğer verileri olan Line Length in Contact, Line Length Out of Contact ve Height/Width'in ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanarak Şekil 23'den Şekil 30'a kadar olan aşağıdaki grafikler oluşturulmuştur. Grafikler katılımcıların bir yılı aşan sürede çalışmaya sağladıkları imzaların verilerinin tümüne göre hazırlanmıştır. Bir yıl boyunca attıkları imzaların verilerinden standart sapması yüksek olanlar bireysel olarak incelendiğinde kişilerin tek oturuşta peş peşe attıkları imzaların verilerinin de kendi içerisinde varyasyon gösterdiği bu nedenle 1 yılı aşkın sürede alınan imza örneklerindeki standart sapmanın yüksek olmasının beklenen bir sonuç olacağı görülmüştür.



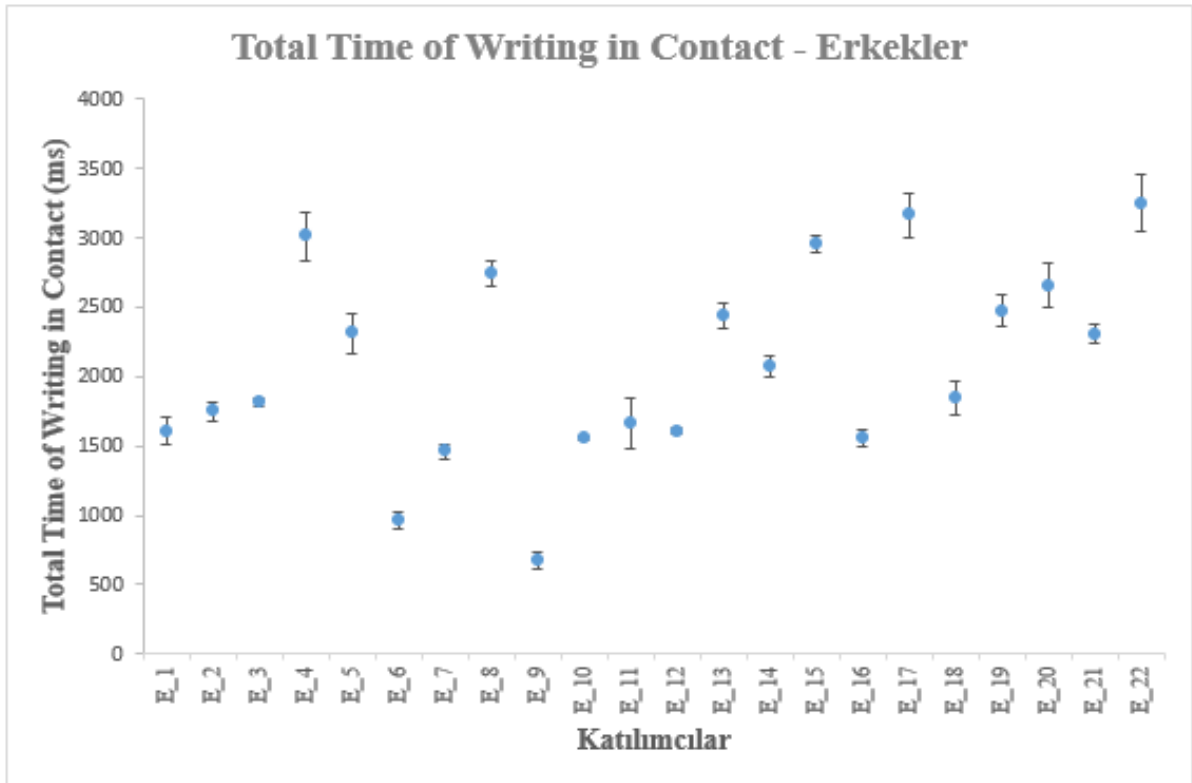
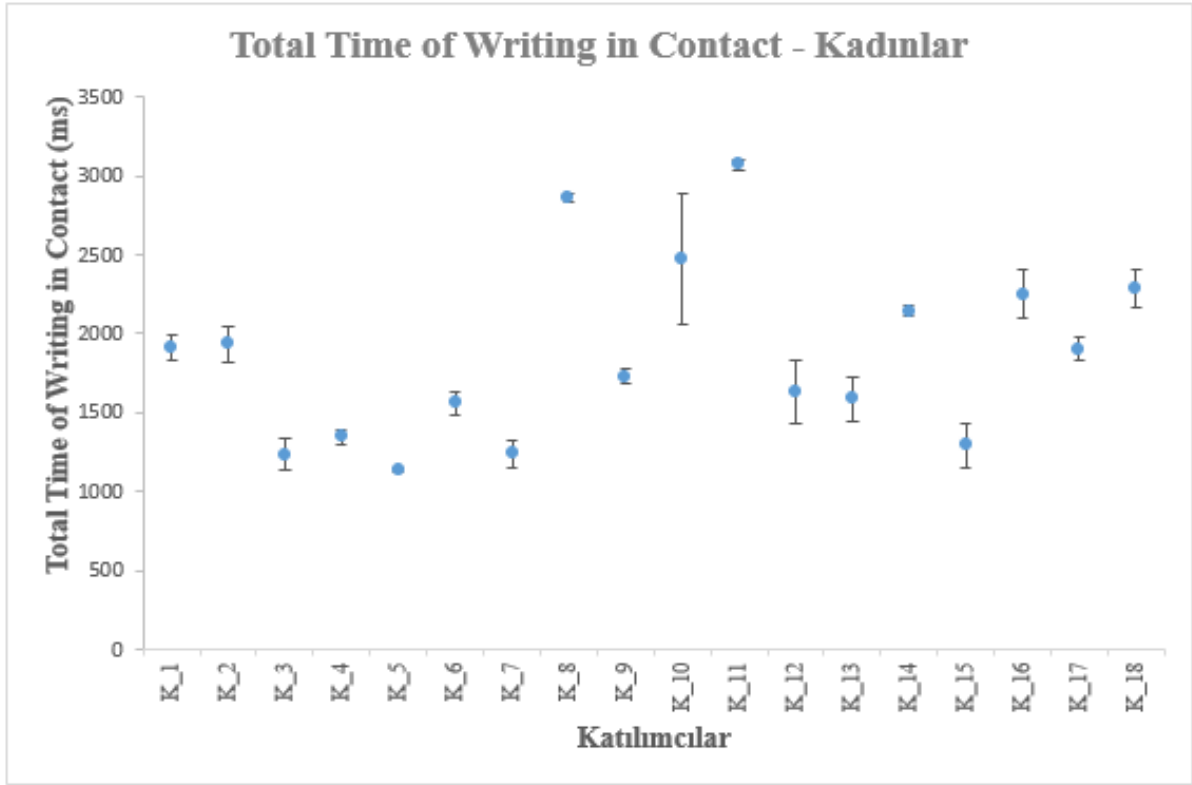
Şekil 22. Kadın ve erkek katılımcıların tüm imzalarının Average Speed verisi açısından mukayesesi



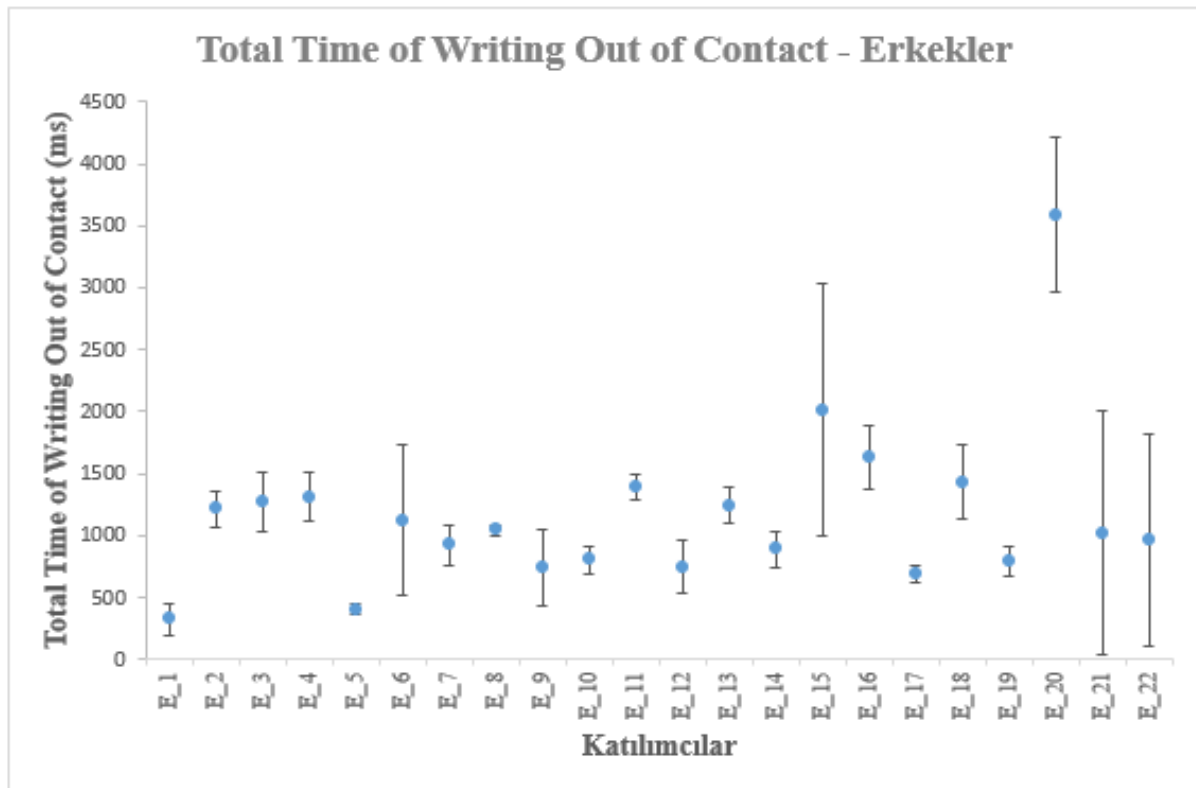
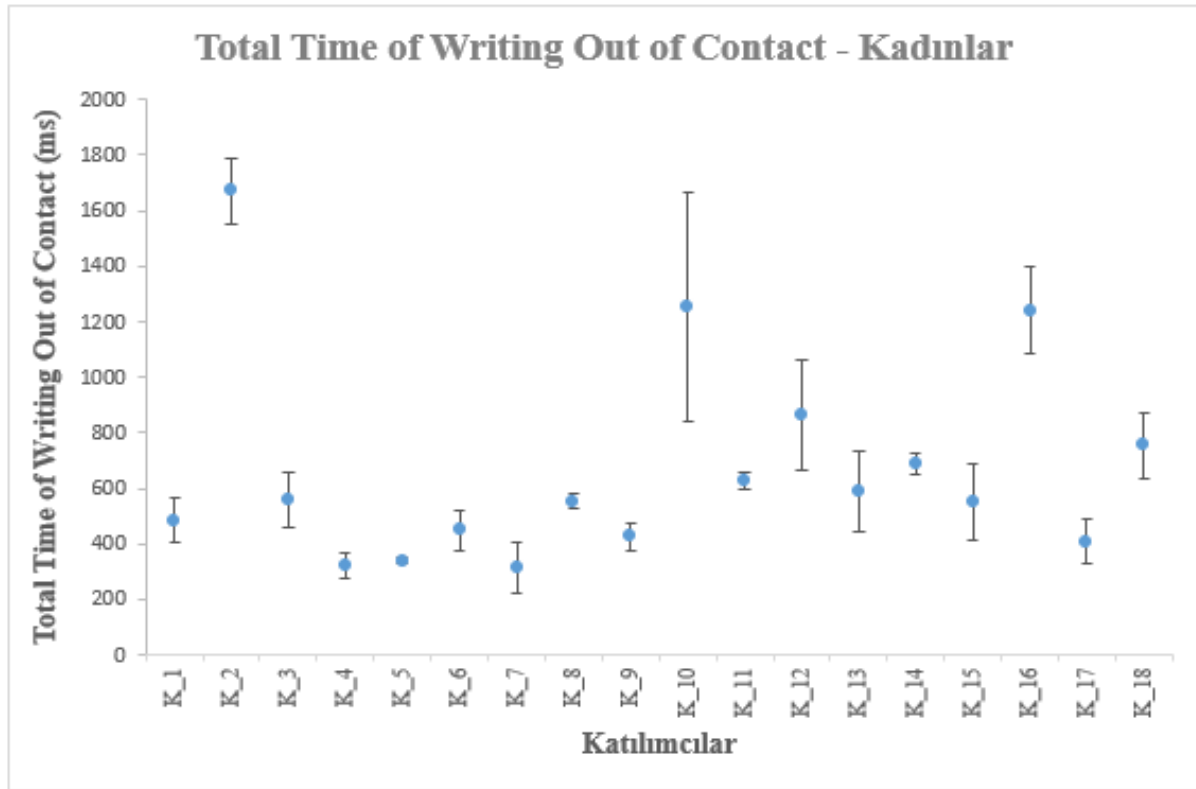
Şekil 23. Kadın ve erkek katılımcıların tüm imzalarının Average Speed in Contact verisi açısından mukayesesi



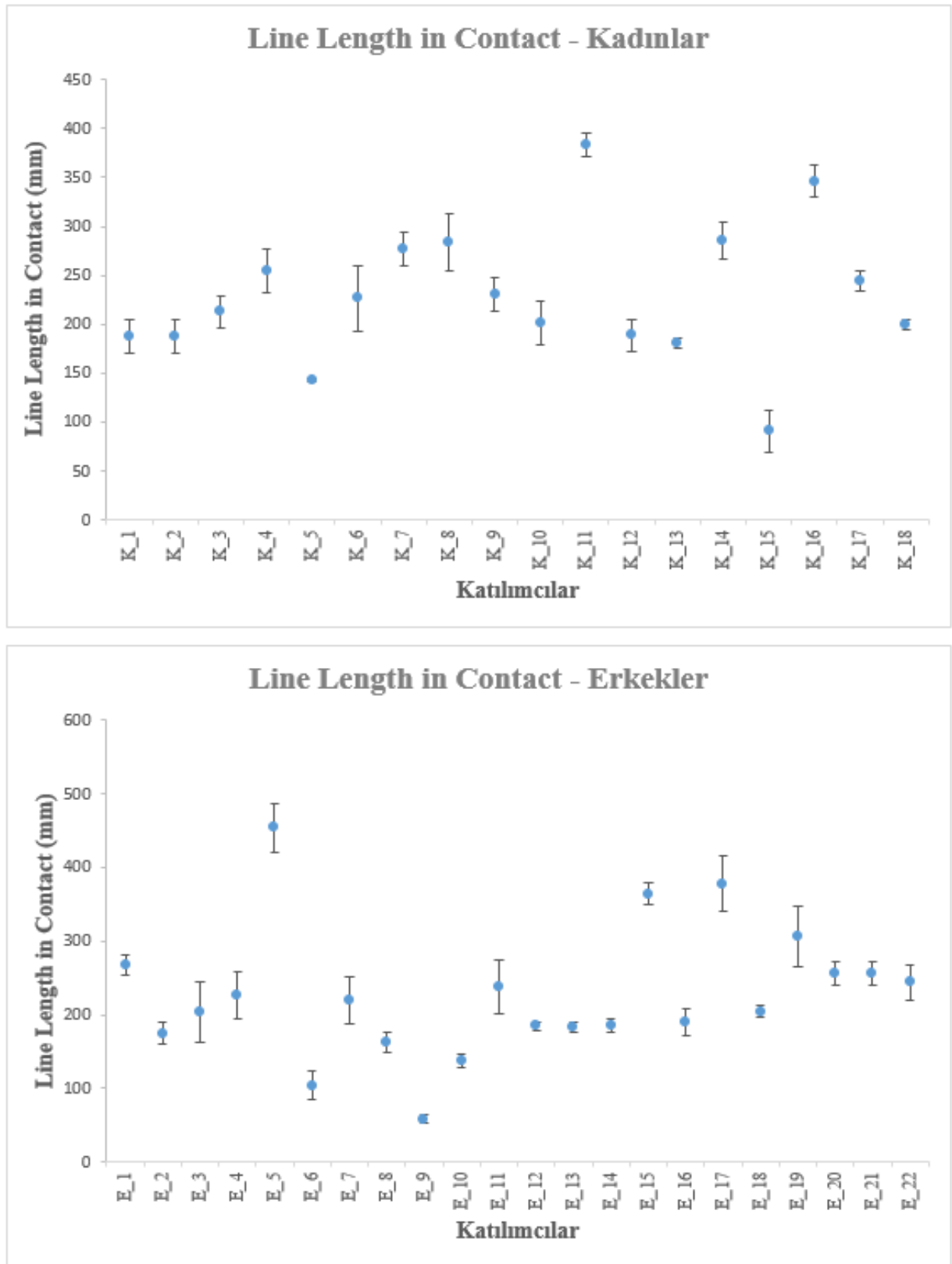
Şekil 24. Kadın ve erkek katılımcıların tüm imzalarının Average Pressure in Contact verisi açısından mukayesesi



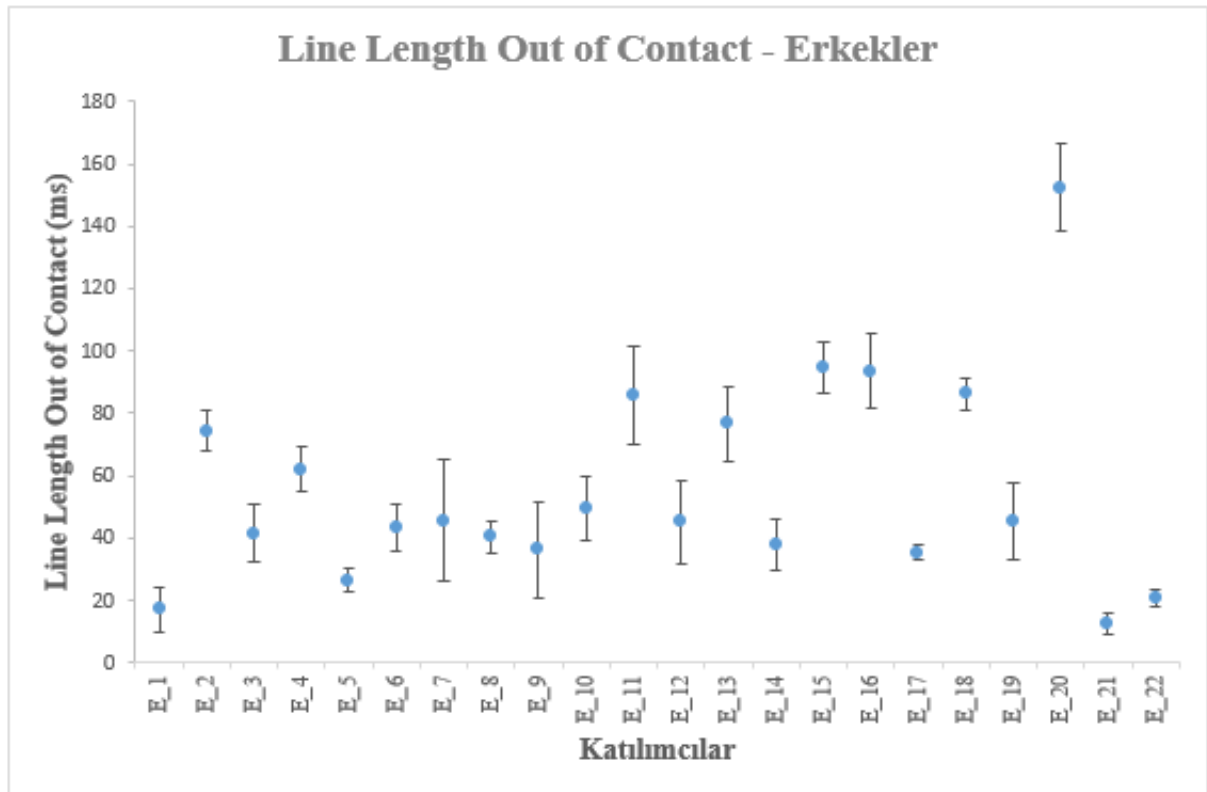
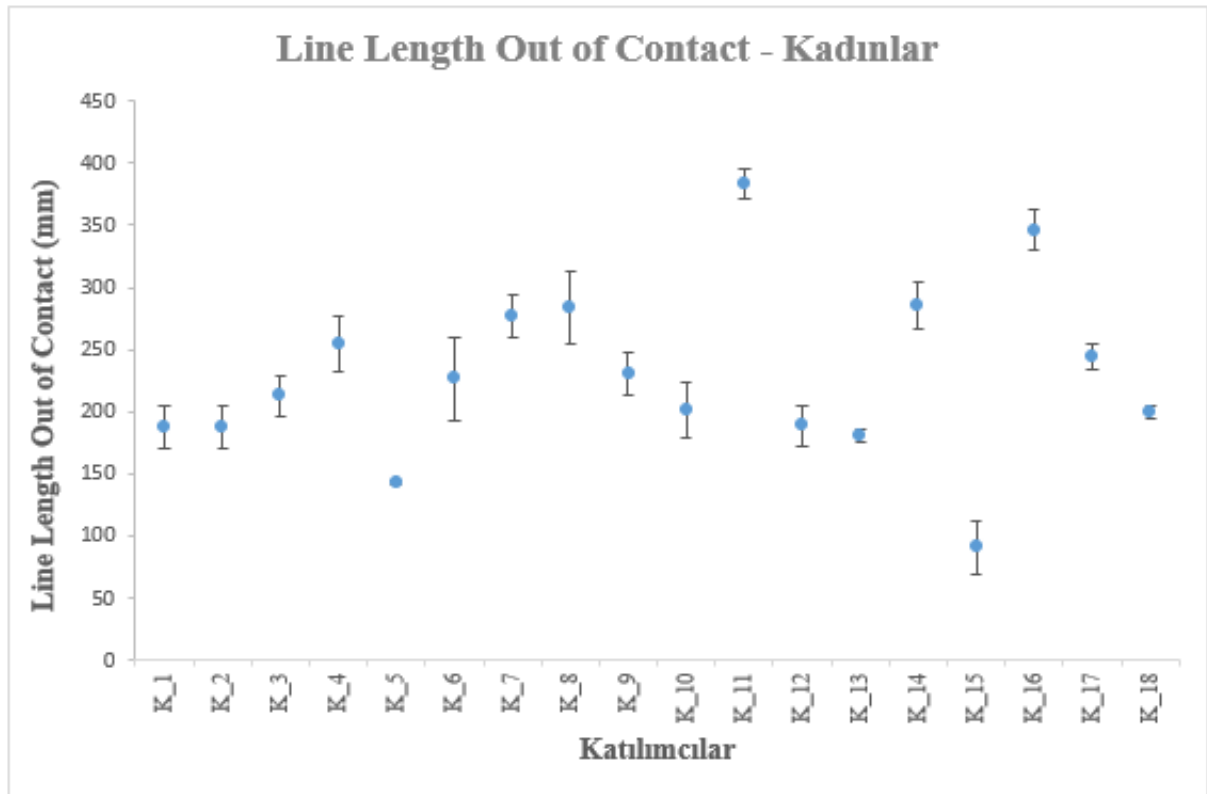
Şekil 25. Kadın ve erkek katılımcıların tüm imzalarının Total Time of Writing in Contact verisi açısından mukayesesi



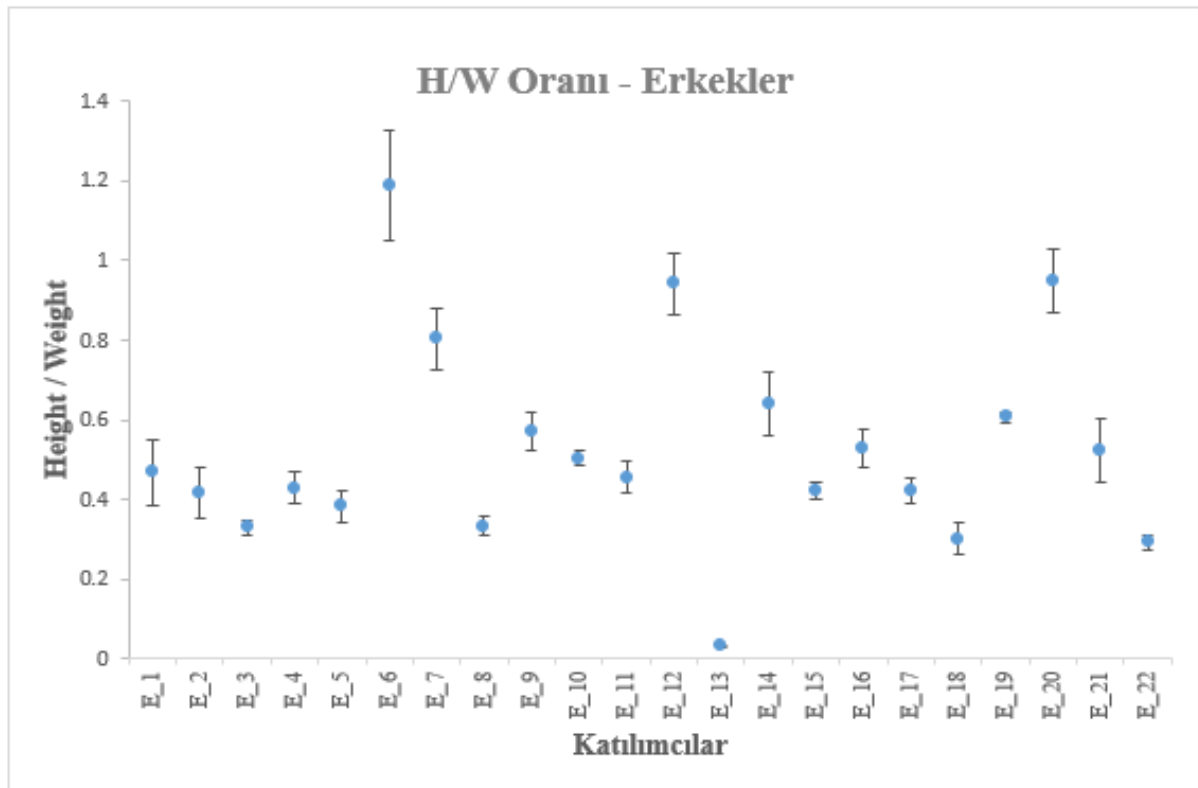
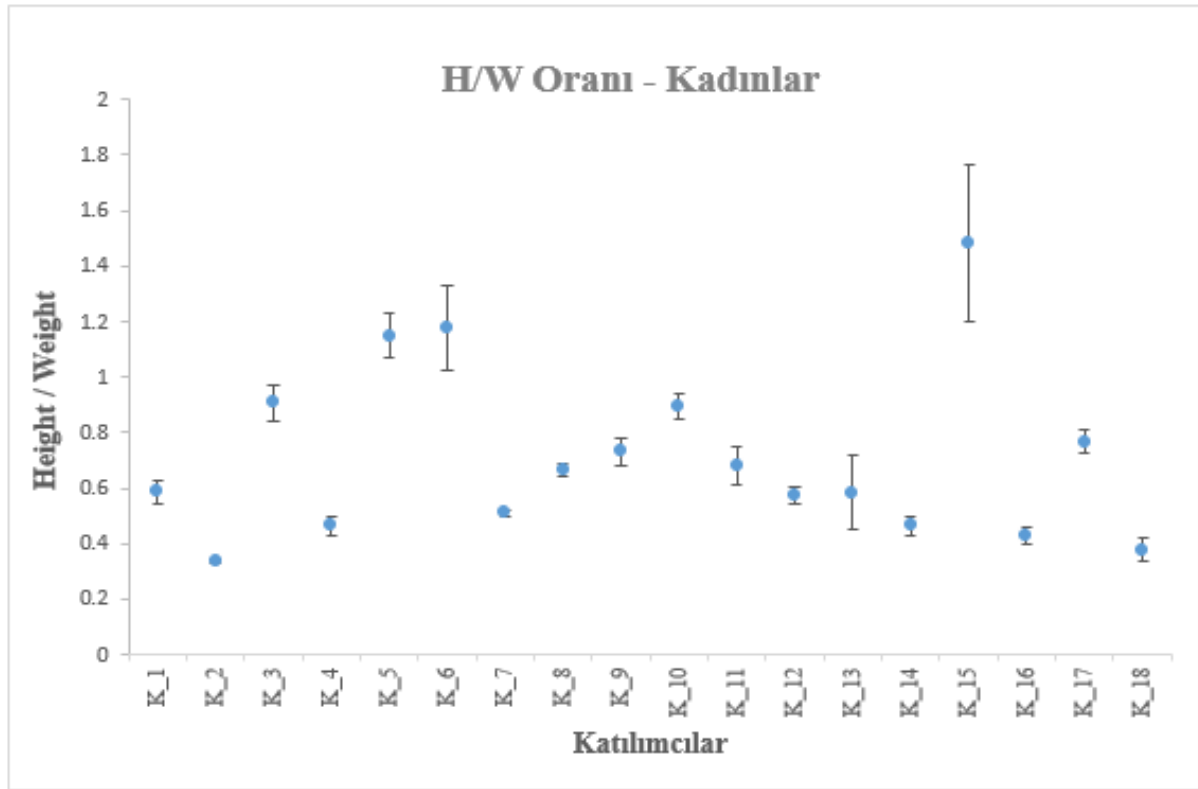
Şekil 26. Kadın ve erkek katılımcıların tüm imzalarının Total Time of Out of Contact verisi açısından mukayesesi



Şekil 27. Kadın ve erkek katılımcıların tüm imzalarının Line Length in Contact verisi açısından mukayesesi

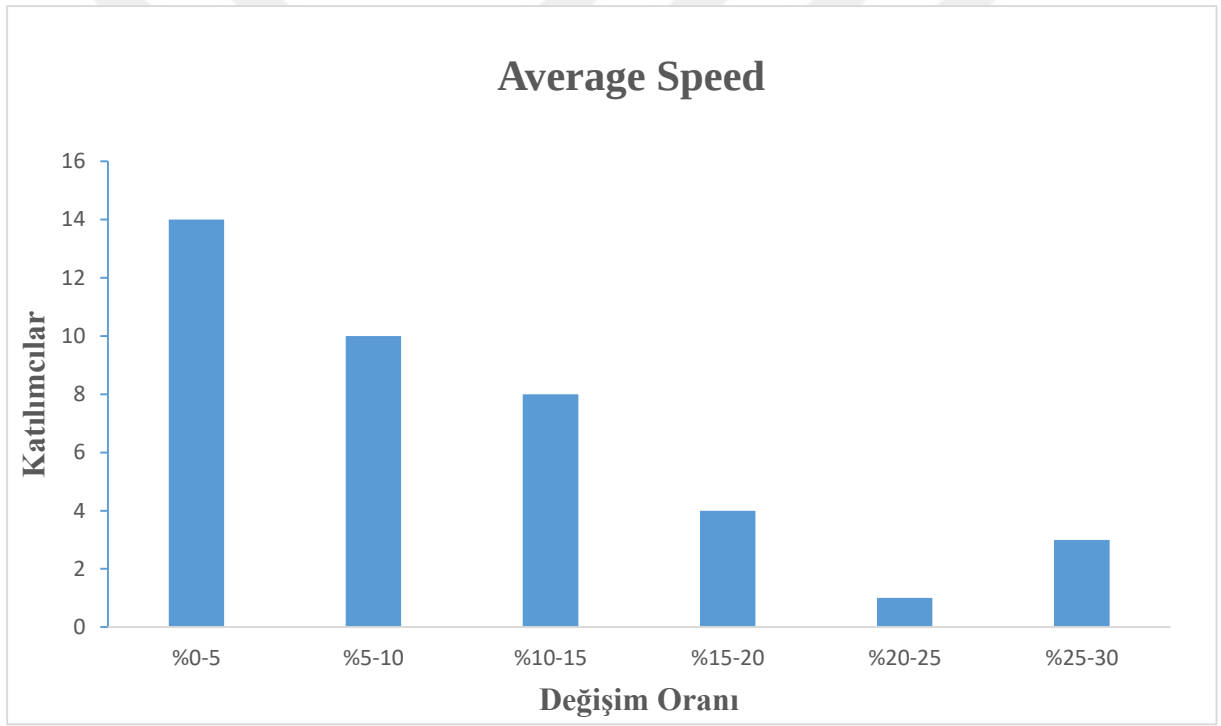


Şekil 28. Kadın ve erkek katılımcıların tüm imzalarının Line Length out of Contact verisi açısından mukayesesi

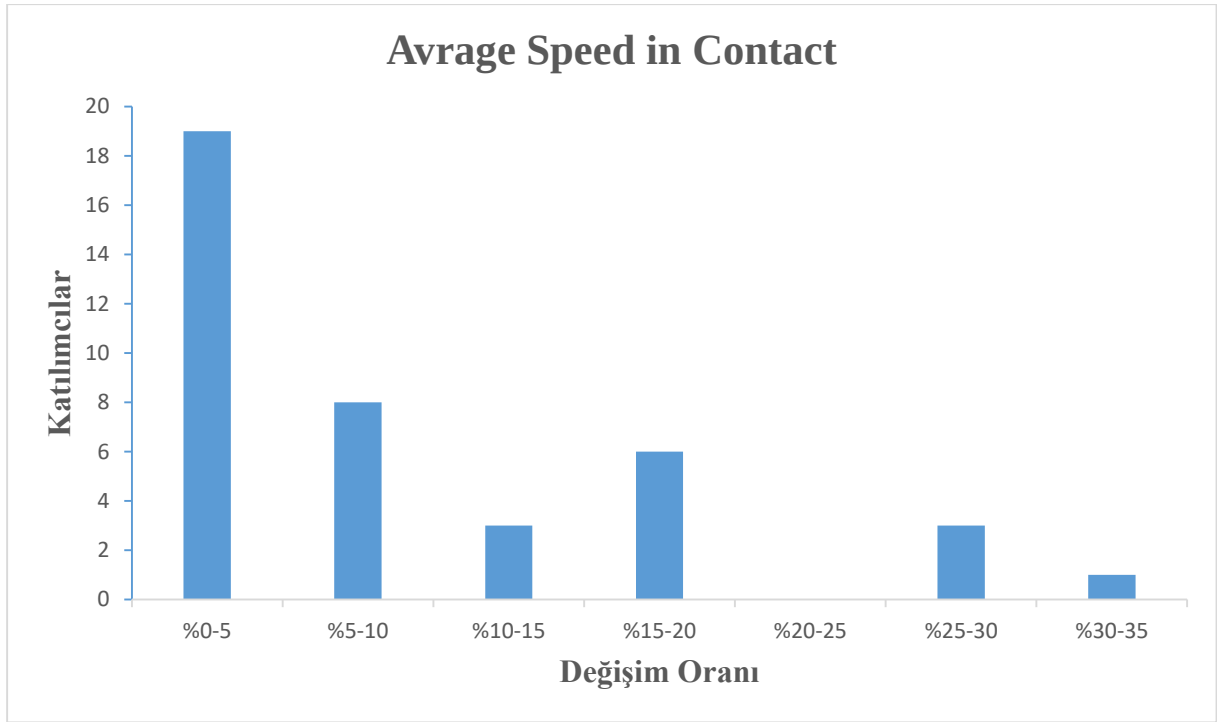


Şekil 29. Kadın ve erkek katılımcıların tüm imzalarının H/W verisi açısından mukayesesi

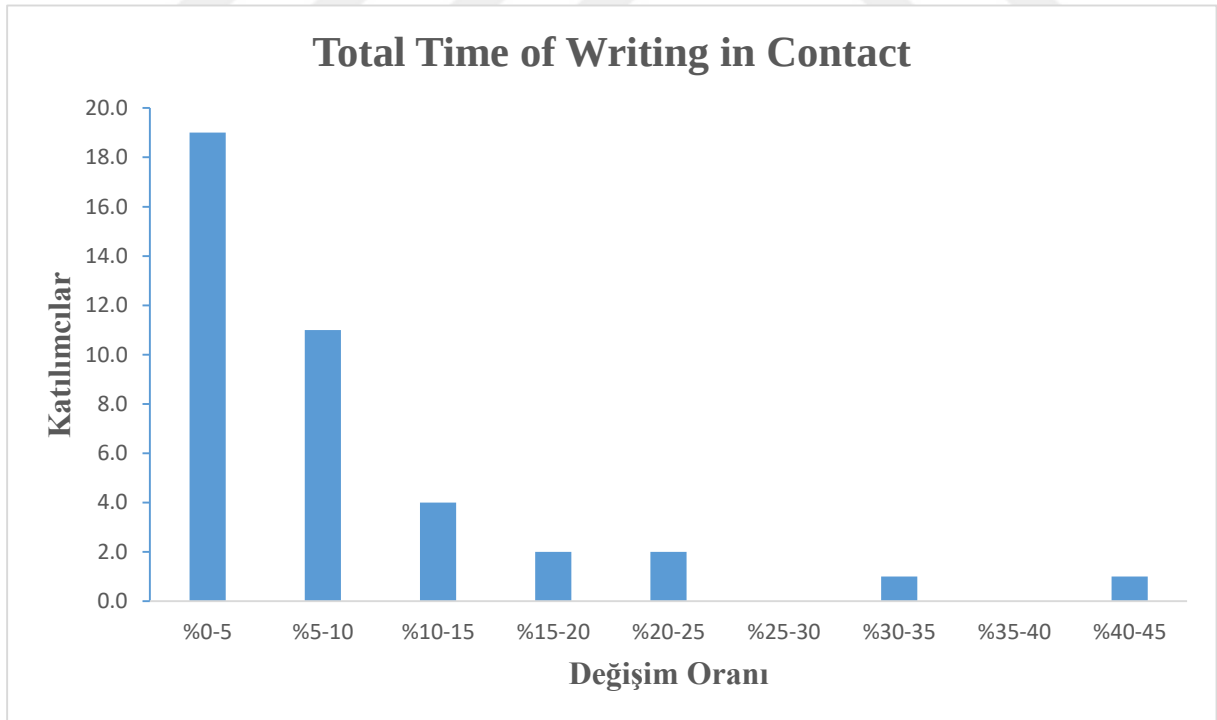
Ayrıca kişilerin imzalarında bir yılı aşan sürede Average Speed, Average Speed in Contact, Average Pressure in Contact, Total Time of Writing in Contact Total Time of Writing Out of Contact, Line Length in Contact, Line Length Out of Contact ve H/W (en/boy) verilerinde ne kadarlık değişim olduğu Şekil 31'den Şekil 37.'ye kadar olan grafiklerde görülmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde kişilerin birçoğunun verilerindeki değişim oranı %0-10 arasında olduğu görülmektedir. Değişim verileri mutlak değer alınarak hesaplanmıştır.



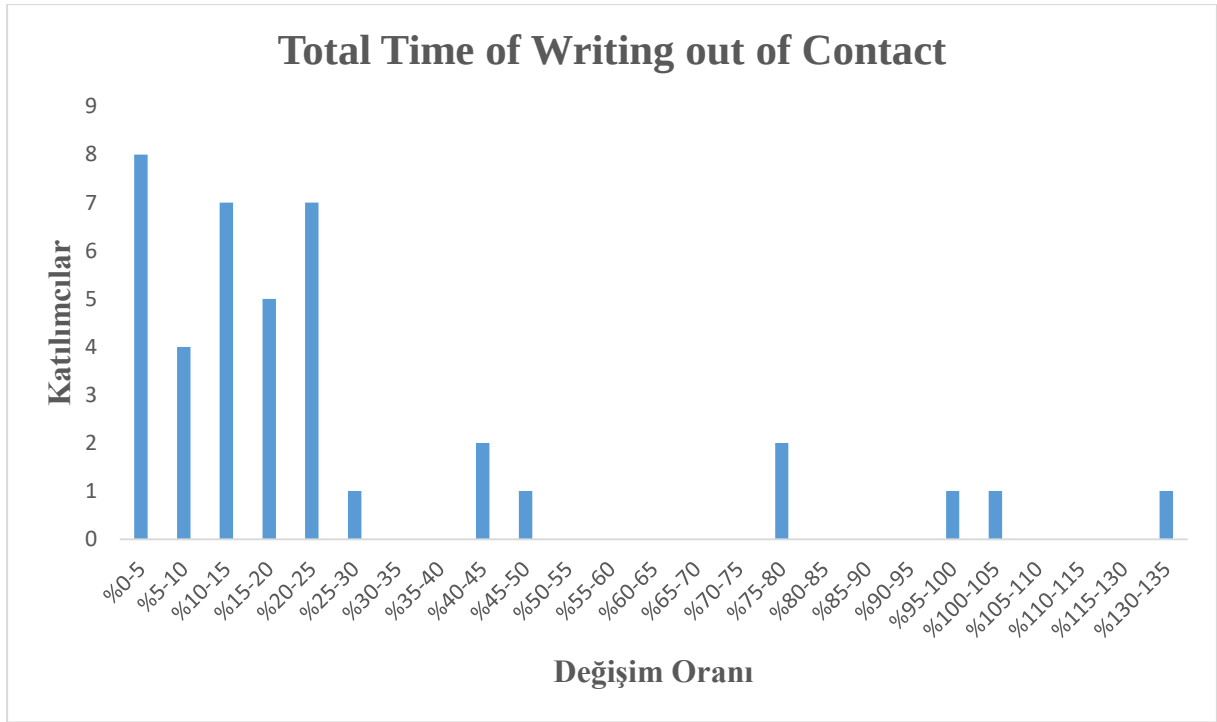
Şekil 30. Katılımcıların ilk imzaları ile bir yıl sonra alınan imzalarında Average Speed verisinin değişim oranı



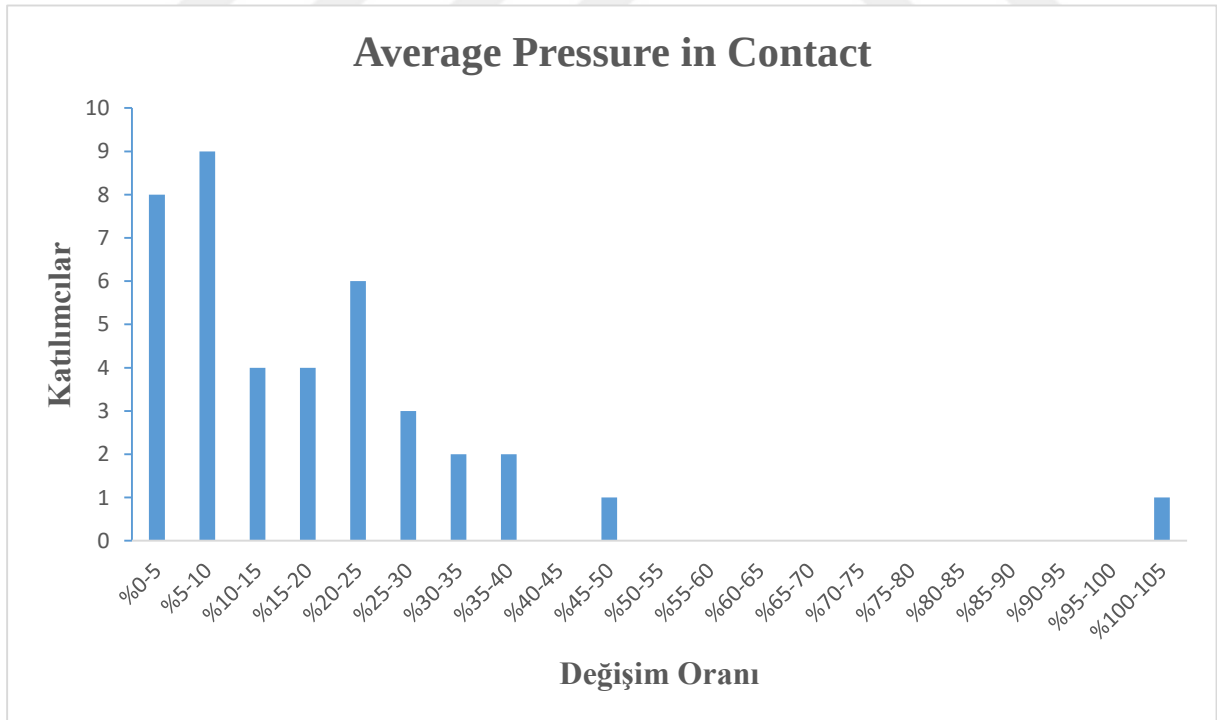
Şekil 31. Katılımcıların ilk imzaları ile bir yıl sonra alınan imzalarında Average Speed in Contact verisinin değişim oranı



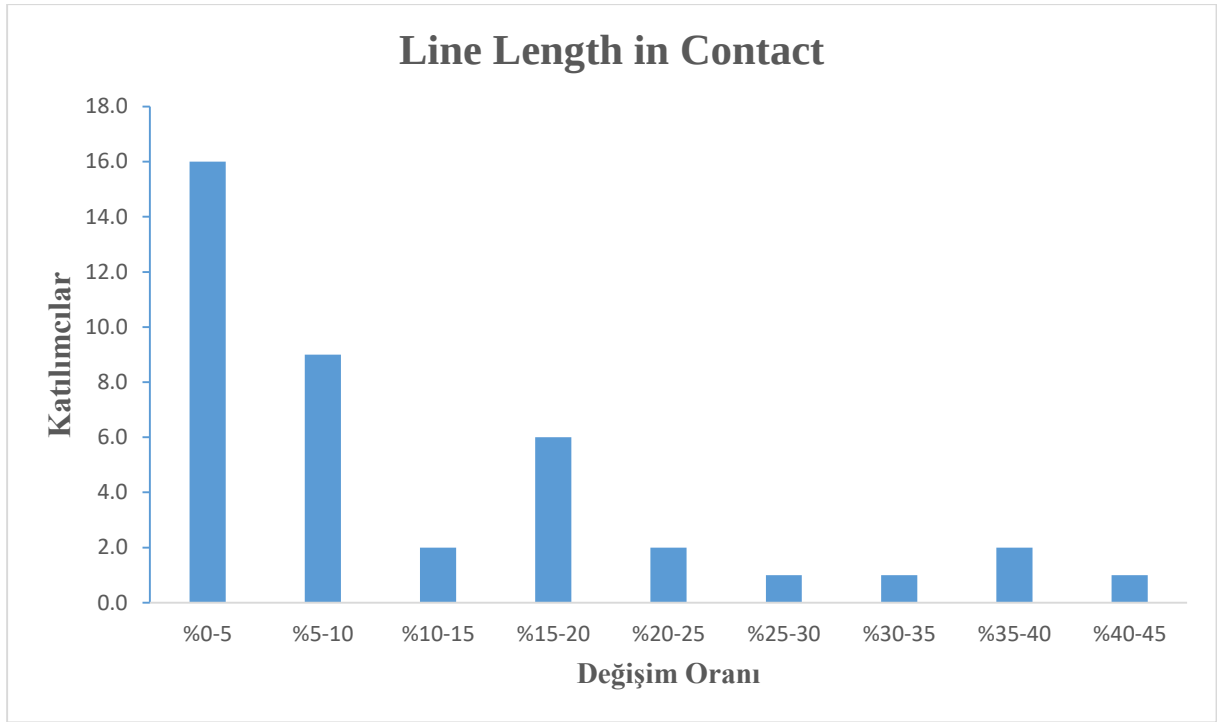
Şekil 32. Katılımcıların ilk imzaları ile bir yıl sonra alınan imzalarında Total Time of Writing in Contact verisinin değişim oranı



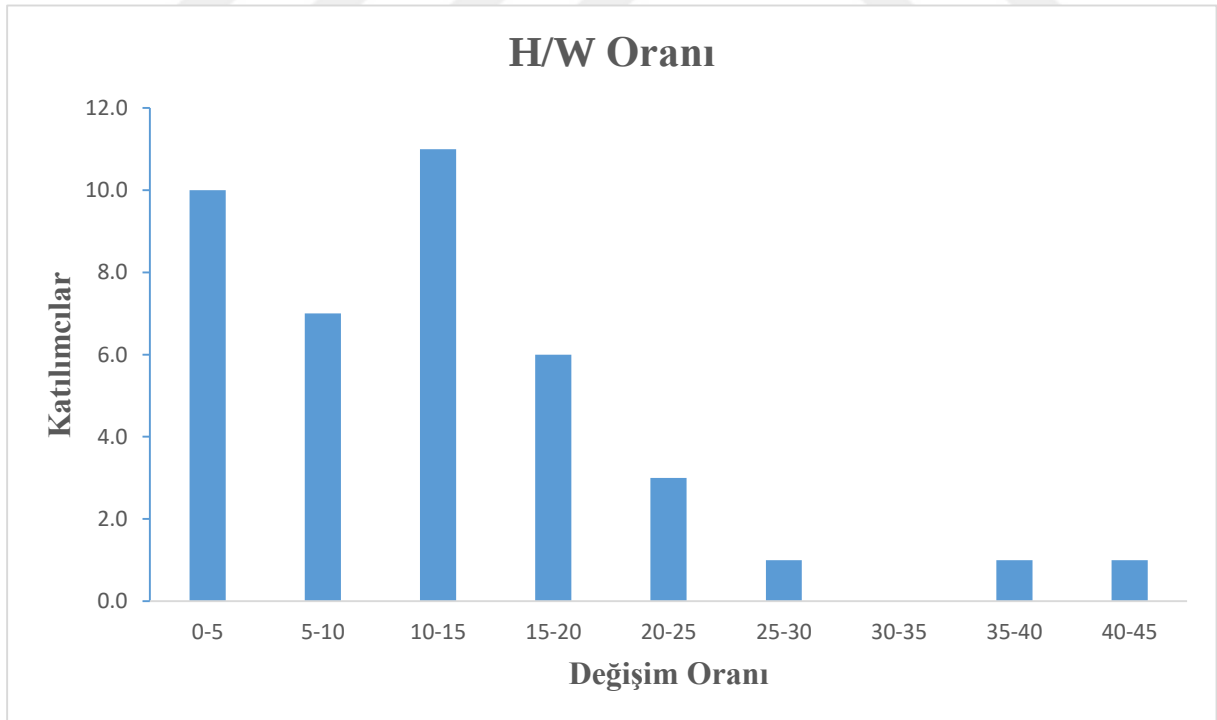
Şekil 33. Katılımcıların ilk imzaları ile bir yıl sonra alınan imzalarında Total Time of Writing out of Contact verisinin değişim oranı



Şekil 34. Katılımcıların ilk imzaları ile bir yıl sonra alınan imzalarında Average Pressure in Contact verisinin değişim oranı



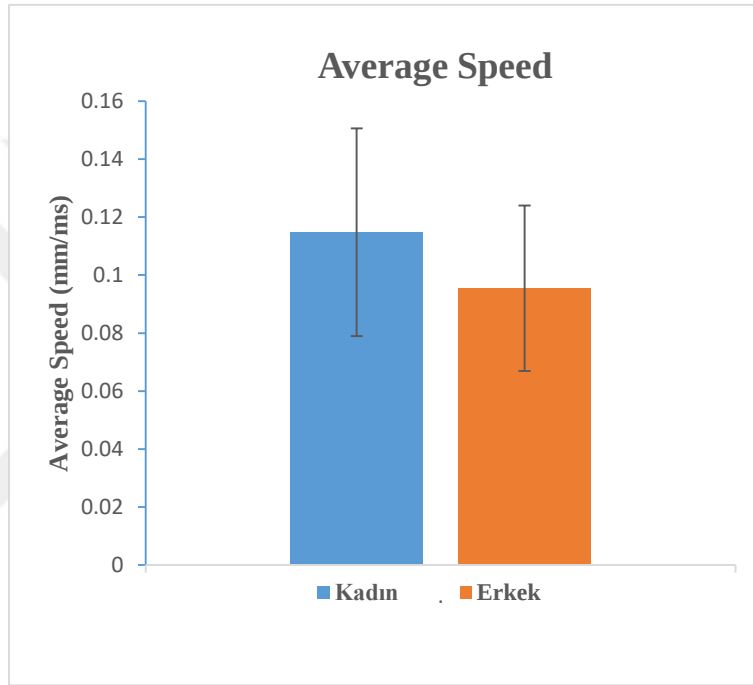
Şekil 35. Katılımcıların ilk imzaları ile bir yıl sonra alınan imzalarında Line Length in Contact verisinin değişim oranı



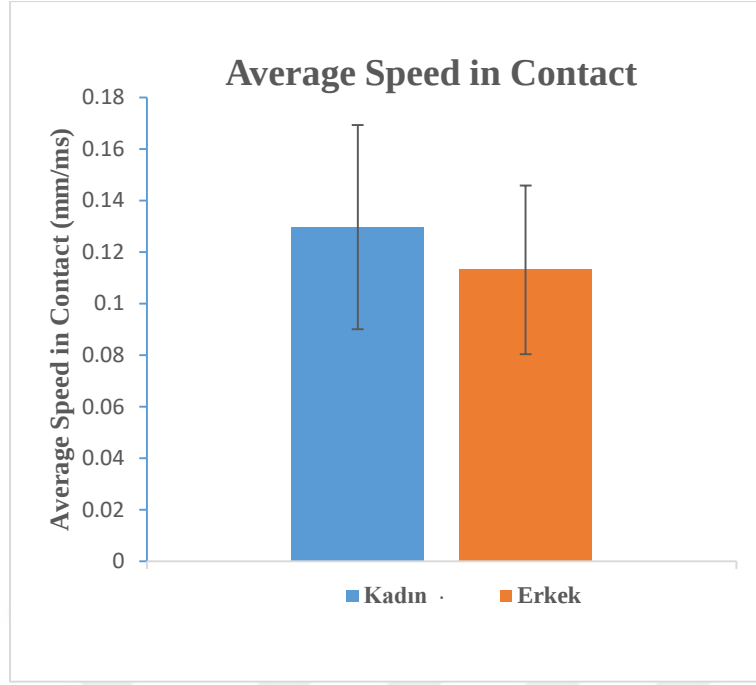
Şekil 36. Katılımcıların ilk imzaları ile bir yıl sonra alınan imzalarında H/W verisinin değişim oranı

4.1.3. Kadın ve erkek katılımcıların cinsiyet açısından verilerinin karşılaştırılması

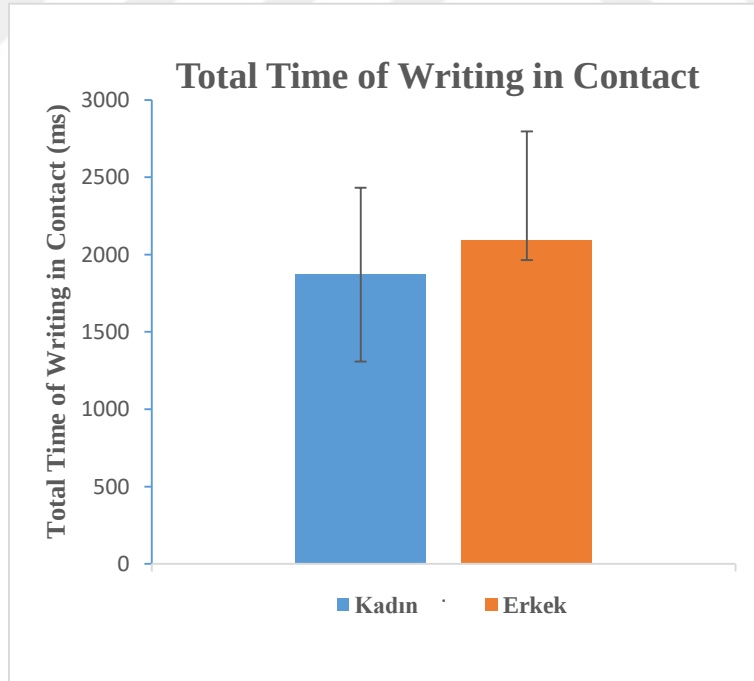
Katılımcılardan alınan toplam seksen imzanın Average Speed, Average Speed in Contact, Average Pressure in Contact, Total Time of Writing in Contact Total Time of Writing Out of Contact, Line Length in Contact, Line Length Out of Contact ve H/W verilerinin cinsiyet açısından karşılaştırılması Şekil 38’den Şekil 45’e kadar olan grafiklerde görülmektedir.



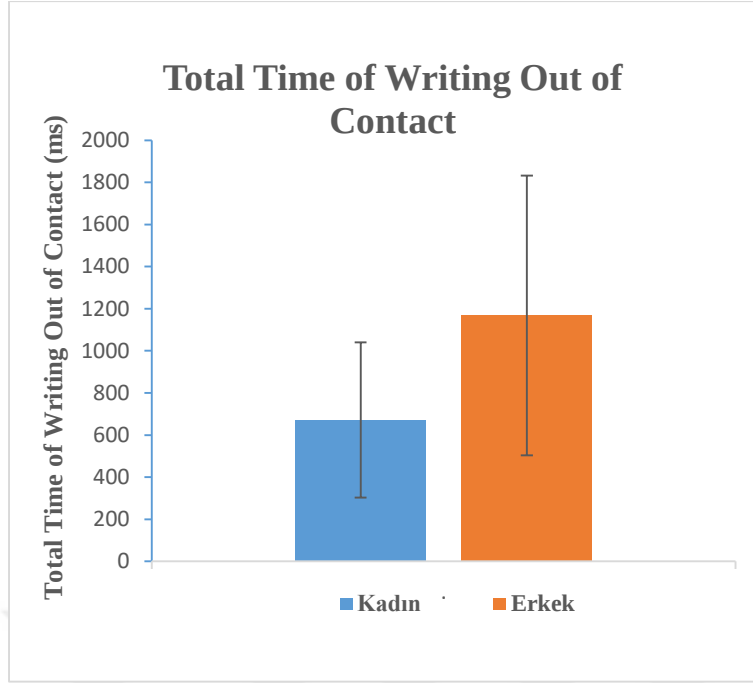
Şekil 37. Tüm Kadın ve Erkek Katılımcıların imzalarının “Average Speed” verisi açısından ortalama değerleri



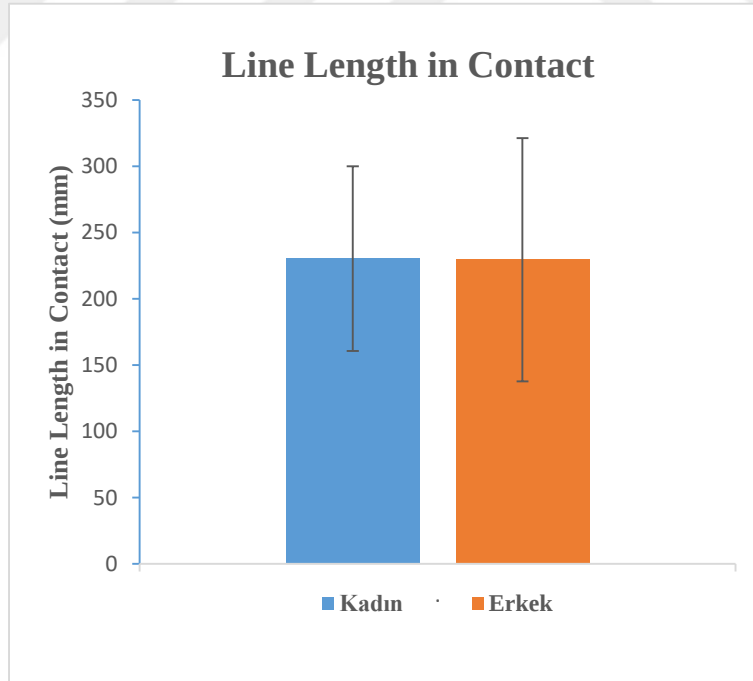
Şekil 38. Tüm Kadın ve Erkek Katılımcıların imzalarının “Average Speed in Contact” verisi açısından ortalama değerleri



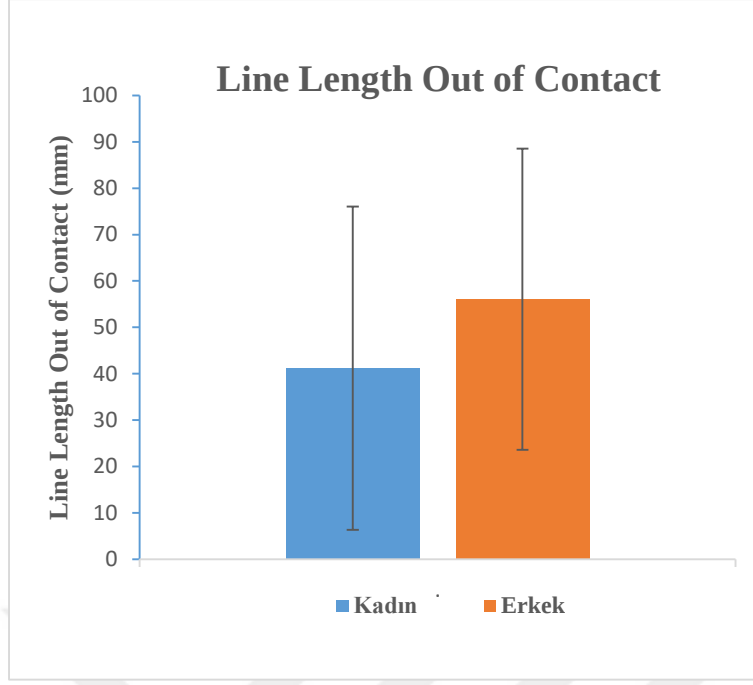
Şekil 39. Tüm Kadın ve Erkek Katılımcıların imzalarının “Total Time of Writing in Contact” verisi açısından ortalama değerleri



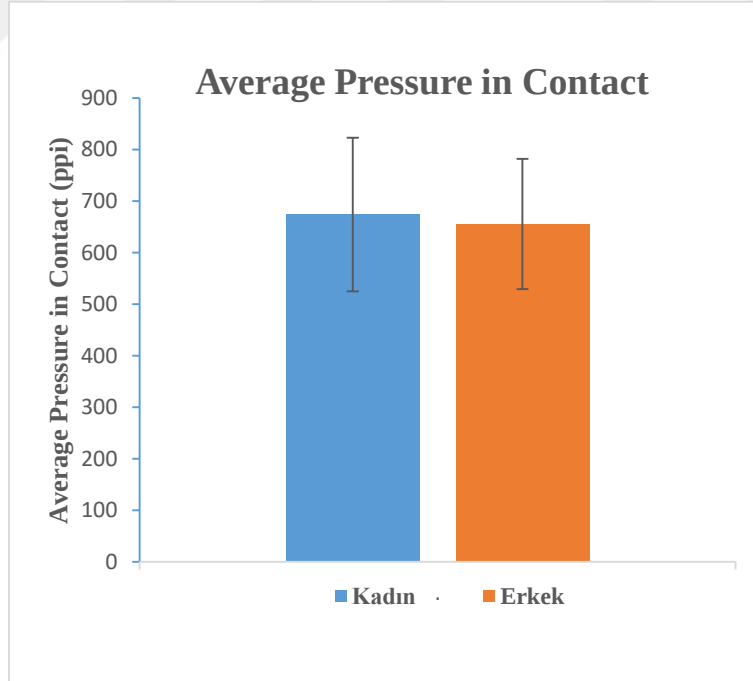
Şekil 40. Tüm Kadın ve Erkek Katılımcıların imzalarının “Total Time of Writing Out of Contact” verisi açısından ortalama değerleri



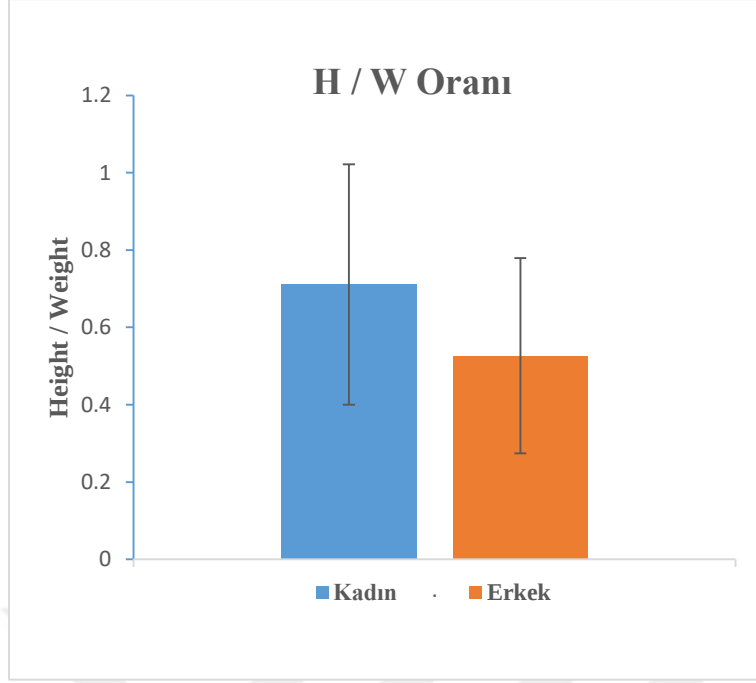
Şekil 41. Tüm Kadın ve Erkek Katılımcıların imzalarının “Line Length in Contact” verisi açısından ortalama değerleri



Şekil 42. Tüm Kadın ve Erkek Katılımcıların imzalarının “Line Length Out of Contact” verisi açısından ortalama değerleri



Şekil 43. Tüm Kadın ve Erkek Katılımcıların imzalarının “Average Pressure in Contact” verisi açısından ortalama değerleri



Şekil 44. Tüm Kadın ve Erkek Katılımcıların imzalarının “H/W ” verisi açısından ortalama değerleri

Kadın ve erkek katılımcıların verilerinin sayısal olarak mukayesesi Tablo IV’de gösterilmiştir.

Tablo IV. Tüm Kadın ve Erkek Katılımcıların Dinamik Verilerinin Ortalama ve Standart Sapma Değerleri.

Biyometrik Veriler	Kadınlar		Erkekler	
	Ortalama	Standart Sapma	Ortalama	Standart Sapma
Average Speed (mm/ms)	0.114763	0.035837	0.09545	0.02853
Average Speed in Contact (mm/ms)	0.129673	0.03959	0.113112	0.032702

Average Pressure in Contact	673.6096	148.963	655.3957	126.4437
Total Time of Writing in Contact (ms)	1870.029	561.4937	2090.499	705.2856
Total Time of Writing Out of Contact (ms)	670.984	368.8005	1167.399	664.4692
Line Length in Contact (mm)	230.2837	69.72451	229.5311	91.7487
Line Length Out of Contact (mm)	41.20301	34.81452	56.07002	32.47833
H/W Ratio	0.711139	0.31086	0.526526	0.252266

4.1.4. Kadın ve erkek katılımcıların cinsiyet açısından verilerinin Mann Withney testi ile karşılaştırılması

Cinsiyet açısından kişilerin verilerinde bir farklılaşma olup olmadığının tespiti için Mann Witney U testi yapılmıştır. TabloIV ve Tablo V test sonucunu göstermektedir. Anlamlılık düzeyi olarak $p<0,05$ alınmıştır.

Test sonucuna göre erkeklerin imza atarken ellerini havada kaldırma süreleri kadınlara kıyasla anlamlı olarak farklı ve yüksek bulunmuştur.

Tablo V. Kadın ve erkek katılımcıların imza “Average Speed”, “Average Speed in Contact”, “Average Pressure in Contact” ve “Total Time of Writing in Contact” verileri açısından karşılaştırılması.

Cinsiyet		Average Speed (mm/ms)	Average Speed in Contact (mm/ms)	Average Pressure in Contact	Total Time of Writing in Contact (ms)
Kadın	Ortalama	0,1148	0,1293	677,03	1866,69
	Std. Sapma	0,0358	0,0399	146,27	563,21
	Minimum	0,0629	0,0725	443,03	1134,53
	Maksimum	0,1997	0,2280	948,00	3071,05
Erkek	Ortalama	0,0953	0,1125	660,53	2084,12
	Std. Sapma	0,0286	0,0326	117,10	702,54
	Minimum	0,0554	0,0601	483,42	673,05
	Maksimum	0,1796	0,1989	871,70	3250,56
z		1,93	1,52	0,30	1,11

p	0,0536	0,1279	0,7649	0,2650
----------	--------	--------	--------	--------

Tablo VI. Kadın ve erkek katılımcıların imza verilerinin “Total Time of Writing Out of Contact (ms)”, “Line Length in Contact (mm)”, “Line Length Out of Contact (mm)” and “H/W Ratio” verileri açısından karşılaştırılması.

Cinsiyet		Total Time of Writing Out of Contact (ms)	Line Length in Contact (mm)	Line Length Out of Contact (mm)	H/W Ratio
Kadın	Ortalama	671,98	227,85	228,95	0,7105
	Std. Sapma	370,39	67,65	69,75	0,3097
	Minimum	315,69	87,92	90,92	0,3382
	Maksimum	1670,61	378,65	382,83	1,4856
Erkek	Ortalama	1161,37	227,38	55,54	0,5246
	Std. Sapma	665,69	89,81	32,68	0,2571
	Minimum	321,78	58,66	12,49	0,0318

	Maksimum	3582,32	453,94	152,28	1,1894
z		3,13	0,38	5,27	2,15
p		0,0018	0,7035	0,0001	0,0317

4.2. Farklı Tersime Sahip İmzaların Taklitlerinin Karşılaştırılması

Tüm taklit ve orijinal imza grupları “Number of Points”, “Average Speed”, “Average Speed in Contact” ve “Average Pressure in Contact”, “Total Time of Writing in Contact”, “Total Time of Writing out of Contact”, Line Length in Contact”, “Line Length out of Contact”, “H/W”, “Acceleration” ve “Jerk” olmak üzere toplam 11 veri grubu istatistiksel olarak incelenmiş aralarında anlamlı fark olanlar belirlenmiştir. Cinsiyetin taklit imza verileri üzerinde bir farklılığa neden olup olmadığında incelenmiştir.

4.2.1. Basit düzey tersime sahip orijinal imzanın taklitleri ile karşılaştırılması

Üç imza grubunun (orijinal, serbest taklit ve bakarak taklit) özelliklerine ilişkin değerler Kruskal Wallis Analizi ile karşılaştırılmıştır. Her iki taklit tipi imzaların “Average Pressure in Contact” ve “Line Length out of Contact” verileri dışındaki diğer imza verilerinin orijinal imzadan istatistiksel olarak farklı olduğu saptanmıştır (Tablo VII ve Tablo VIII).

Bakarak taklit ve serbest taklit imzaları arasında yalnız “Number of Points” istatistiksel olarak farklı bulunmuştur. Diğer özellikleri arasında fark olmadığı görülmektedir ($p<0,05$) (Mann Whitney).

Tablo VII. Bakarak ve Serbest taklit imza örneklerinin “Number of Points”, “Average Speed”, “Average Speed in Contact” ve “Average Pressure in Contact”, “Total Time of Writing in Contact” ve “Total Time of Writing out of Contact” açısından karşılaştırılması.

		Number of Points	Average Speed	Average in Speed in Contact	Average Pressure in Contact	Total Time of Writing in Contact	Total Time of Writing out of Contact
Orijinal	Ortalama	396,00 B-S	0,1801 B-S	0,1989 B-S	709,60	1372,80 B-S	278,50 B-S
Bakarak	Ortalama	832,02^s	0,0613	0,0757	718,90	2515,01	1163,75
	Std. Sapma	235,21	0,0191	0,0278	169,90	953,58	719,75
	Minimum	532,00	0,0343	0,0399	434,00	1570,60	544,30
	Maksimum	1345,30	0,0993	0,1291	994,60	4452,40	2836,90
Serbest	Ortalama	556,52	0,0775	0,0913	732,75	1813,87	847,68
	Std. Sapma	151,31	0,0195	0,0265	157,10	653,42	653,22
	Minimum	369,30	0,0513	0,0621	428,70	1106,10	454,43

	Maksimum	838,50	0,1069	0,1373	993,30	2752,30	2482,50
Kruskal-Wallis		20,561	21,389	20,778	0,469	11,959	21,059
p		0,0001	0,0001	0,0001	0,7910	0,0025	0,0001

Tablo VIII. Orijinal ve taklit imza örneklerinin “Line Length in Contact”, “Line Length out of Contact”, “H/W”, “Acceleration” ve “Jerk” verileri açısından karşılaştırılması.

		Line Length in Contact	Line Length out of Contact	H/W	Acceleration	Jerk
Orijinal	Ortalama	270,25^{B-S}	23,06	0,461^{B-S}	0,798^{B-S}	0,006^{B-S}
Bakarak	Ortalama	166,16	30,50	0,622	0,295	-0,003
	Std. Sapma	37,94	31,70	0,073	0,094	0,005
	Minimum	114,10	6,69	0,543	0,196	-0,010
	Maksimum	231,36	114,36	0,742	0,511	0,002
Serbest	Ortalama	150,97	25,57	0,679	0,368	-0,007
	Std. Sapma	36,99	20,86	0,110	0,113	0,008
	Minimum	102,83	6,81	0,541	0,229	-0,022

	Maksimum	223,35	75,38	0,861	0,545	0,003
Kruskal-Wallis		20,417	0,935	20,695	21,164	20,309
p		0,0001	0,6266	0,0001	0,0001	0,0001

4.2.1.1. Basit düzey tersime sahip imzanın taklitçilerinin cinsiyet açısından karşılaştırılması

Kadın ve Erkek taklitçilerin verileri Mann Whitney testi ile karşılaştırılmış ve sadece “Jerk” verilerinde anlamlı bir fark olduğu görülmüştür (Tablo IX ve Tablo X).

Tablo IX Kadın ve erkek taklitçilerin imza örneklerinin “Number of Points”, “Average Speed”, “Average Speed in Contact” ve “Average Pressure in Contact” , “Total Time of Writing in Contact” ve “Total Time of Writing out of Contact” verilerinin karşılaştırılması.

		Number of Points	Average Speed	Average in Speed in Contact	Average Pressure in Contact	Total Time of Writing in Contact	Total Time of Writing out of Contact
Kadın	Ortalama	742,11	0,0697	0,0841	794,38	2476,73	839,75
	Std. Sapma	273,31	0,0227	0,0316	154,69	1037,11	432,91
	Minimum	431,20	0,0343	0,0399	564,70	1275,90	454,43
	Maksimum	1345,30	0,1069	0,1373	994,60	4452,40	1515,00

Erkek	Ortalama	646,43	0,0690	0,0829	657,27	1852,15	1171,68
	Std. Sapma	201,49	0,0193	0,0247	138,86	563,08	866,96
	Minimum	369,30	0,0408	0,0481	428,70	1106,10	457,90
	Maksimum	1016,90	0,0995	0,1260	842,00	2674,40	2836,90
z		0,756	0,227	0,009	1,890	1,436	0,832
p		0,4497	0,8206	0,9980	0,0588	0,1509	0,4057

Tablo X. Kadın ve erkek taklitçilerin örneklerinin “Line Length in Contact”, “Line Length out of Contact”, “H/W” ve “Acceleration” ve “Jerk” verileri açısından karşılaştırılması.

		Line Length in Contact	Line Length out of Contact	H/W	Acceleration	Jerk
Kadın	Ortalama	176,84	19,13	0,6718	0,3239	0,0003
	Std. Sapma	32,76	13,92	0,0891	0,1261	0,0018
	Minimum	121,16	6,69	0,5408	0,1956	-0,0027
	Maksimum	231,36	50,56	0,7875	0,5450	0,0026
Erkek	Ortalama	140,30	36,94	0,6286	0,3391	-0,0101
	Std. Sapma	33,49	32,92	0,1005	0,0933	0,0060

	Minimum	102,83	12,03	0,5456	0,2153	-0,0223
	Maksimum	213,26	114,36	0,8614	0,4986	-0,0018
z		2,268	2,041	1,058	0,756	3,704
p		0,0233	0,0413	0,2899	0,4497	0,0002

4.2.2. Orta düzey tersime sahip orijinal imzanın taklitleri ile karşılaştırılması

Orijinal, serbest taklit ve bakarak taklit olmak üzere üç imza grubunun verileri Kruskal Wallis Analizi ile karşılaştırılmıştır. “Line Length in Contact”, “Line Length out of Contact” verileri dışında orijinal ve taklit imza verileri arasında anlamlı fark olduğu görülmüştür (Tablo XI ve Tablo XII).

Tablo XI. Bakarak ve Serbest taklit imza örneklerinin “Number of Points”, “Average Speed”, “Average Speed in Contact” ve “Average Pressure in Contact”, “Total Time of Writing in Contact” ve “Total Time of Writing out of Contact” verilerinin karşılaştırılması

		Number of Points	Average Speed	Average in Speed in Contact	Average Pressure in Contact	Total Time of Writing in Contact	Total Time of Writing out of Contact
Orijinal	Ortalama	880,20 B-S	0,07488 B-S	0,09707 B-S	616,60 B-S	1875,00 B-S	1598,20 B-S
Bakarak	Ortalama	1760,67	0,0436	0,0622	699,16	3354,16	5128,28^s

	Std. Sapma	832,49	0,0155	0,0254	140,18	1766,06	2771,91
	Minimum	1029,10	0,0225	0,0261	440,50	2056,40	2515,60
	Maksimum	3790,10	0,0829	0,1241	884,90	8078,70	9287,70
Serbest	Ortalama	1215,49	0,0518	0,0673	729,49	2465,32	2797,38
	Std. Sapma	311,50	0,0103	0,0130	149,80	613,45	1008,07
	Minimum	908,20	0,0385	0,0560	440,60	1825,60	1882,20
	Maksimum	1753,20	0,0714	0,0950	918,10	3845,60	4250,10
Kruskal-Wallis		17,98	16,33	14,53	6,16	17,57	20,19
p		0,001	0,001	0,001	0,045	0,001	0,001

Tablo XII. Bakarak ve Serbest taklit imza örneklerinin “Line Length in Contact”, “Line Length out of Contact”, “H/W” , “Acceleration” ve “Jerk” verileri açısından karşılaştırılması

		Line Length in Contact	Line Length out of Contact	H/W	Acceleration	Jerk
Orijinal	Ortalama	186,67	78,34	00,3338^B	0,4064^{B-S}	0,0012^{B-S}
Bakarak	Ortalama	179,09	108,02	0,4411	0,3015	0,0005

	Std. Sapma	54,10	31,86	0,1065	0,0901	0,0006
	Minimum	113,79	72,00	0,2969	0,2121	-0,0006
	Maksimum	285,81	163,90	0,5962	0,5289	0,0018
Serbest	Ortalama	160,19	93,21	0,4203	0,3195	0,0005
	Std. Sapma	36,84	26,25	0,0969	0,0591	0,0009
	Minimum	106,55	56,74	0,2994	0,2632	-0,0021
	Maksimum	222,03	136,59	0,5787	0,4516	0,0012
Kruskal-Wallis		2,99	5,05	6,29	8,69	6,61
p		0,224	0,082	0,043	0,003	0,010

4.2.1.1. Orta düzey tersime sahip imzanın taklitçilerinin cinsiyet açısından karşılaştırılması

Kadın ve Erkek taklitçiler Mann Whitney testi ile kıyaslandığında sadece “Average Pressure in Contact” verilerinde anlamlı bir fark olduğu ve kadınlarda daha yüksek olduğu görülmüştür (Tablo XIII ve Tablo XIV).

Tablo XIII. Kadın ve erkek taklitçilerin “Number of Points”, “Average Speed”, “Average Speed in Contact” ve “Average Pressure in Contact”, “Total Time of Writing in Contact” ve “Total Time of Writing out of Contact” verilerinin karşılaştırılması.

		Number of Points	Average Speed	Average in Speed in Contact	Average Pressure in Contact	Total Time of Writing in Contact	Total Time of Writing out of Contact
Kadın	Ortalama	1132,82	0,0540	0,0687	440,18	2510,92	2330,92
	Std. Sapma	356,73	0,0106	0,0152	59,56	794,00	760,60
	Minimum	908,20	0,0456	0,0585	367,30	1926,30	1884,20
	Maksimum	1753,20	0,0714	0,0950	514,00	3845,60	3678,90
Erkek	Ortalama	1298,16	0,0496	0,0659	307,54	2419,72	3263,84
	Std. Sapma	271,99	0,0107	0,0120	118,43	459,45	1078,89
	Minimum	913,40	0,0385	0,0560	147,10	1825,60	1882,20
	Maksimum	1598,30	0,0668	0,0795	453,00	2907,00	4250,10
z		0,94	0,73	0,73	1,98	0,10	1,36
p		0,347	0,465	0,465	0,047	0,917	0,175

Tablo XIV. Kadın ve erkek taklitçilerin Mann Whitney U testi ile Bakarak ve Serbest taklit imza örneklerinin “Line Length in Contact”, “Line Length out of Contact”, “H/W” ve “Acceleration” ve “Jerk” verileri açısından karşılaştırılması.

		Line Length in Contact	Line Length out of Contact	H/W	Acceleration	Jerk
Kadın	Ortalama	164,42	82,38	0,3800	0,3221	0,0002
	Std. Sapma	40,17	21,40	0,1007	0,0760	0,0013
	Minimum	126,14	56,74	0,2994	0,2632	-0,0021
	Maksimum	222,03	113,73	0,5257	0,4516	0,0008
Erkek	Ortalama	155,96	104,05	0,4606	0,3170	0,0007
	Std. Sapma	37,35	28,26	0,0831	0,0453	0,0004
	Minimum	106,55	75,94	0,3553	0,2766	0,0002
	Maksimum	210,02	136,59	0,5787	0,3870	0,0012
z		0,31	0,31	1,36	0,31	0,10
p		0,754	0,754	0,175	0,754	0,917

4.2.3. Orta düzey tersime sahip yavaş atılan orijinal imzanın taklitleri ile karşılaştırılması

İmza atmaya alışık olmayan bir katılımcı tarafından atılan orta derece karmaşıklığa sahip yavaş atılan orijinal imza verileri ile bu imzaların serbest ve bakarak taklitlerini içeren üç imza grubunun verileri Kruskal Wallis Analizi ile karşılaştırılmıştır.

Bakarak talit ve serbest taklit imza gruplarının her ikisi de “Jerk” verisi açısından orijinal imzadan anlamlı olarak farklı olduğu görülmüştür. Diğer veriler değerlendirildiğinde sadece bakarak taklit imzaların “Number of Points”, “Average Speed” “Number of Points” ve “Average Speed” değerleri orijinal imzadan anlamlı olarak farklıdır. Bakarak taklit ve serbest taklit grupları kendi aralarında mukayese edildiğinde yine bakarak taklit imzaların “Number of Points”, “Average Speed” “Number of Points” ve “Average Speed” değerleri serbest taklit imzalardan daha büyük ve farklı olduğu görülmüştür. Orta düzeyde tersimi olan ve yavaş atılan imza ile serbest taklitleri arasında istatistik olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır (Tablo XV ve Tablo XVI).

Tablo XV. Orijinal ve taklit imza örneklerinin “Number of Points”, “Average Speed”, “Average Speed in Contact” ve “Average Pressure in Contact”, “Total Time of Writing in Contact” ve “Total Time of Writing out of Contact” verileri açısından karşılaştırılması.

		Number of Points	Average Speed	Average in Speed in Contact	Average Pressure in Contact	Total Time of Writing in Contact	Total Time of Writing out of Contact
Orijinal	Ortalama	968,50^B	0,0714^B	0,0764	700,70	3028,60	1375,20^B
Bakarak	Ortalama	1774,97^S	0,0471^S	0,0603	687,48	5005,68	3072,21^S

	Std. Sapma	919,15	0,0164	0,0271	150,63	3012,98	1741,58
	Minimum	821,50	0,0253	0,0291	501,90	2016,80	1031,20
	Maksimum	4018,90	0,0682	0,0954	918,60	12249,80	6451,90
Serbest	Ortalama	1117,33	0,0648	0,0770	687,87	3255,83	1586,22
	Std. Sapma	410,29	0,0158	0,0216	105,47	1445,90	699,82
	Minimum	609,60	0,0422	0,0470	546,40	1757,00	800,50
	Maksimum	2099,40	0,0922	0,1069	884,80	6878,20	3006,75
Kruskal-Wallis		9,39	13,67	1,99	0,23	5,09	9,98
p		0,0092	0,0011	0,3706	0,8936	0,0785	0,0068

Tablo XVI. Orijinal ve taklit imza örneklerinin “Number of Points”, “Average Speed”, “Average Speed in Contact” ve “Average Pressure in Contact”, “Total Time of Writing in Contact” ve “Total Time of Writing out of Contact” verileri açısından karşılaştırılması.

		Line Length in Contact	Line Length out of Contact	H/W	Acceleration	Jerk
Orijinal	Ortalama	229,47	61,16	0,4529	0,2857	0,0023 B-S
Bakarak	Ortalama	231,46	64,91	0,4996	0,2804	0,0009

	Std. Sapma	46,15	26,84	0,0967	0,0840	0,0009
	Minimum	173,72	33,46	0,2894	0,1848	-0,0006
	Maksimum	315,31	110,92	0,6438	0,4240	0,0023
Serbest	Ortalama	233,34	57,24	0,5060	0,3173	0,0013
	Std. Sapma	86,19	26,61	0,0978	0,0854	0,0014
	Minimum	153,46	28,82	0,3132	0,2359	-0,0006
	Maksimum	442,39	109,96	0,6523	0,4434	0,0043
Kruskal-Wallis		0,59	0,80	5,15	1,41	13,93
p		0,7458	0,6691	0,0760	0,4950	0,0009

4.2.3.1. Orta düzey tersime sahip yavaş atılan imzanın taklitçilerinin cinsiyet açısından karşılaştırılması

Kadın ve Erkek taklitçilerin tüm verileri kıyaslandığında sadece “Average Pressure in Contact” verilerinde anlamlı bir fark vardır ve kadın taklitçiler erkeklerden daha basınçlı olarak imzaları taklit etmişlerdir (Tablo XVII ve Tablo XVIII).

Tablo XVII. Kadın ve erkek taklitçilerin imza örneklerinin “Number of Points”, “Average Speed”, “Average Speed in Contact” ve “Average Pressure in Contact”, “Total Time of Writing in Contact” ve “Total Time of Writing out of Contact” verilerinin karşılaştırılması.

		Number of Points	Average Speed	Average Speed in Contact	Average Pressure in Contact	Total Time of Writing in Contact	Total Time of Writing out of Contact
Kadın	Ortalama	1577,36	0,0552	0,0675	747,75	4718,44	2281,49
	Std. Sapma	998,19	0,0190	0,0269	124,58	3208,68	1601,75
	Minimum	609,60	0,0262	0,0292	540,10	1757,00	800,50
	Maksimum	4018,90	0,0792	0,0969	918,60	12249,80	6451,90
Erkek	Ortalama	1314,94	0,0567	0,0698	627,60	3543,08	2376,94
	Std. Sapma	467,77	0,0181	0,0250	101,36	1344,11	1476,13
	Minimum	872,00	0,0253	0,0291	501,90	2382,50	813,80
	Maksimum	2445,30	0,0922	0,1069	819,50	7007,40	5300,10
z		0,08	0,15	0,23	2,04	0,38	0,15
p		0,9397	0,8798	0,8206	0,0413	0,7055	0,8798

Tablo XVIII. Kadın ve erkek taklitçilerin Mann Whitney U testi ile Bakarak ve Serbest taklit imza örneklerinin “Line Length in Contact”, “Line Length out of Contact”, “H/W” ve “Acceleration” ve “Jerk” verileri açısından karşılaştırılması.

		Line Length in Contact	Line Length out of Contact	H/W	Acceleration	Jerk
Kadın	Ortalama	248,19	53,93	0,4887	0,3059	0,0009
	Std. Sapma	83,71	22,19	0,0482	0,0959	0,0007
	Minimum	161,21	30,75	0,4453	0,1985	-0,0002
	Maksimum	442,39	104,63	0,5692	0,4434	0,0019
Erkek	Ortalama	216,61	68,23	0,5169	0,2918	0,0012
	Std. Sapma	44,72	29,24	0,1272	0,0761	0,0015
	Minimum	153,46	28,82	0,2894	0,1848	-0,0006
	Maksimum	283,05	110,92	0,6523	0,4235	0,0043
z		0,60	1,13	1,36	0,15	0,53
p		0,5453	0,2568	0,1736	0,8798	0,5967

4.2.4. Zor düzeyde tersime sahip orijinal imzanın taklitleri ile karşılaştırılması

Tersimi zor olan orijinal imza verileri ile serbest ve bakarak taklit verileri Kruskal Wallis Analizi ile karşılaştırılmıştır. Orijinal imzaların “Number of Points”, “Average Speed”, “Average Speed in Contact”, Total Time of Writing out of Contact”, “Line Length in Contact”, “Acceleration” ve “Jerk” verileri taklitçilerden anlamlı olarak farklı bulunmuştur bulunamamıştır (Tablo XIX ve Tablo XX).

Tablo XIX. Orijinal ve taklit imza örneklerinin “Number of Points”, “Average Speed”, “Average Speed in Contact” ve “Average Pressure in Contact”, “Total Time of Writing in Contact” ve “Total Time of Writing out of Contact” verileri açısından karşılaştırılması.

		Number of Points	Average Speed	Average in Speed in Contact	Average Pressure in Contact	Total Time of Writing in Contact	Total Time of Writing out of Contact
Orijinal	Ortalama	964,69 B-S	0,1088 B-S	0,1213 B-S	758,60	2969,72	2061,96^B
Bakarak	Ortalama	1933,84	0,0408	0,0456	731,08	5773,58	3283,41
	Std. Sapma	737,42	0,0127	0,0166	185,35	2563,82	1526,34
	Minimum	967,10	0,0219	0,0243	410,60	2373,10	1474,60
	Maksimum	3169,40	0,0579	0,0693	984,40	9904,20	5792,10
Serbest	Ortalama	1447,55	0,0517	0,0553	719,88	4287,46	2113,87

	Std. Sapma	471,54	0,0153	0,0187	177,36	1396,48	1017,17
	Minimum	911,70	0,0262	0,0281	406,66	2673,80	1122,70
	Maksimum	2270,00	0,0733	0,0911	932,20	6271,30	4552,10
Kruskal-Wallis		15,78	21,39	20,70	0,37	4,29	6,90
p		0,0004	0,0001	0,0001	0,8301	0,1173	0,0318

Tablo XX. Orijinal ve taklit imza örneklerinin “Line Length in Contact”, “Line Length out of Contact”, “H/W”, “Acceleration” ve “Jerk” verileri açısından karşılaştırılması.

		Line Length in Contact	Line Length out of Contact	H/W	Acceleration	Jerk
Orijinal	Ortalama	357,50^{B-S}	95,25	0,4249	0,5290^{B-S}	0,0010^{B-S}
Bakarak	Ortalama	223,44	83,00	0,3777	0,2576	-0,0002
	Std. Sapma	76,16	18,19	0,0446	0,0517	0,0010
	Minimum	134,66	60,12	0,3269	0,2033	-0,0026
	Maksimum	414,08	108,47	0,4374	0,3465	0,0008
Serbest	Ortalama	218,74	80,41	0,3970	0,2768	0,0006
	Std. Sapma	73,99	22,28	0,0624	0,0574	0,0006

	Minimum	159,61	54,26	0,2889	0,2033	-0,0006
	Maksimum	403,67	109,52	0,4662	0,3711	0,0016
Kruskal-Wallis		13,03	2,03	4,51	20,29	18,94
p		0,0015	0,3633	0,1048	0,0001	0,0001

4.2.4.1. Zor düzeyde tersime sahip imzanın taklitçilerinin cinsiyet açısından karşılaştırılması

Kadın ve Erkek taklitçilerin tüm verileri kıyaslandığında sadece “Total Time of Writing out of Contact” verilerinde anlamlı bir fark olduğu ve erkek taklitçilerin kadınlardan taklit sırasında tablet yüzeyinde temassız olarak daha çok hareket ettiği görülmüştür (Tablo XXI ve Tablo XXII).

Tablo XXI. Kadın ve erkek taklitçilerin “Number of Points”, “Average Speed”, “Average Speed in Contact” ve “Average Pressure in Contact”, “Total Time of Writing in Contact” ve “Total Time of Writing out of Contact” verileri açısından karşılaştırılması.

		Number of Points	Average Speed	Average Speed in Contact	Average Pressure in Contact	Total Time of Writing in Contact	Total Time of Writing out of Contact
Kadın	Ortalama	1518,90	0,0495	0,0533	789,42	4707,22	2024,22

	Std. Sapma	718,36	0,0122	0,0145	174,37	2465,98	1060,22
	Minimum	911,70	0,0268	0,0273	514,80	2373,10	1122,70
	Maksimum	3169,40	0,0631	0,0693	984,40	9904,20	4797,00
Erkek	Ortalama	1862,49	0,0430	0,0476	661,55	5353,82	3373,07
	Std. Sapma	562,04	0,0170	0,0212	162,46	1853,91	1410,46
	Minimum	1037,26	0,0219	0,0243	406,66	2673,80	1580,60
	Maksimum	2776,10	0,0733	0,0911	879,00	8506,00	5792,10
Mann Whitney		1,66	1,21	0,91	1,81	0,98	2,49
p		0,0963	0,2265	0,3643	0,0696	0,3258	0,0126

Tablo XXII. Kadın ve erkek taklitçilerin imza örneklerinin “Line Length in Contact”, “Line Length out of Contact”, “H/W” ve “Acceleration” ve “Jerk” verileri açısından karşılaştırılması.

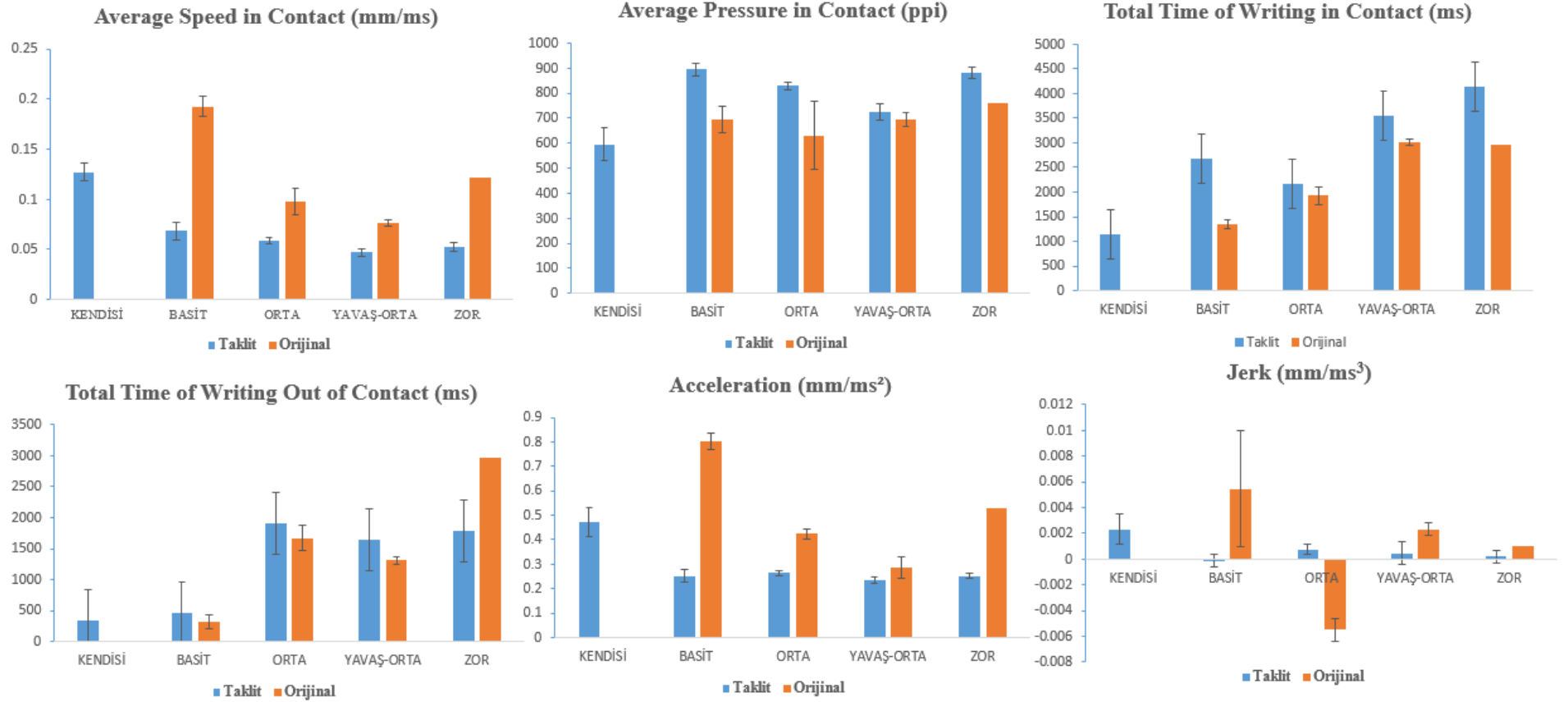
		Line Length in Contact	Line Length out of Contact	H/W	Acceleration	Jerk
Kadın	Ortalama	213,62	73,66	0,3802	0,2801	0,0001
	Std. Sapma	36,31	20,48	0,0551	0,0534	0,0010

	Minimum	163,63	54,26	0,2973	0,2128	-0,0026
	Maksimum	275,37	105,20	0,4662	0,3465	0,0009
Erkek	Ortalama	228,56	89,75	0,3944	0,2544	0,0002
	Std. Sapma	99,22	16,35	0,0542	0,0544	0,0008
	Minimum	134,66	59,92	0,2889	0,2033	-0,0010
	Maksimum	414,08	109,52	0,4640	0,3711	0,0016
Mann Whitney		0,68	1,81	0,60	1,06	0,30
p		0,4963	0,0696	0,5453	0,2897	0,7623

4.2.5. Taklitçilerin bireysel değerlendirilmesi

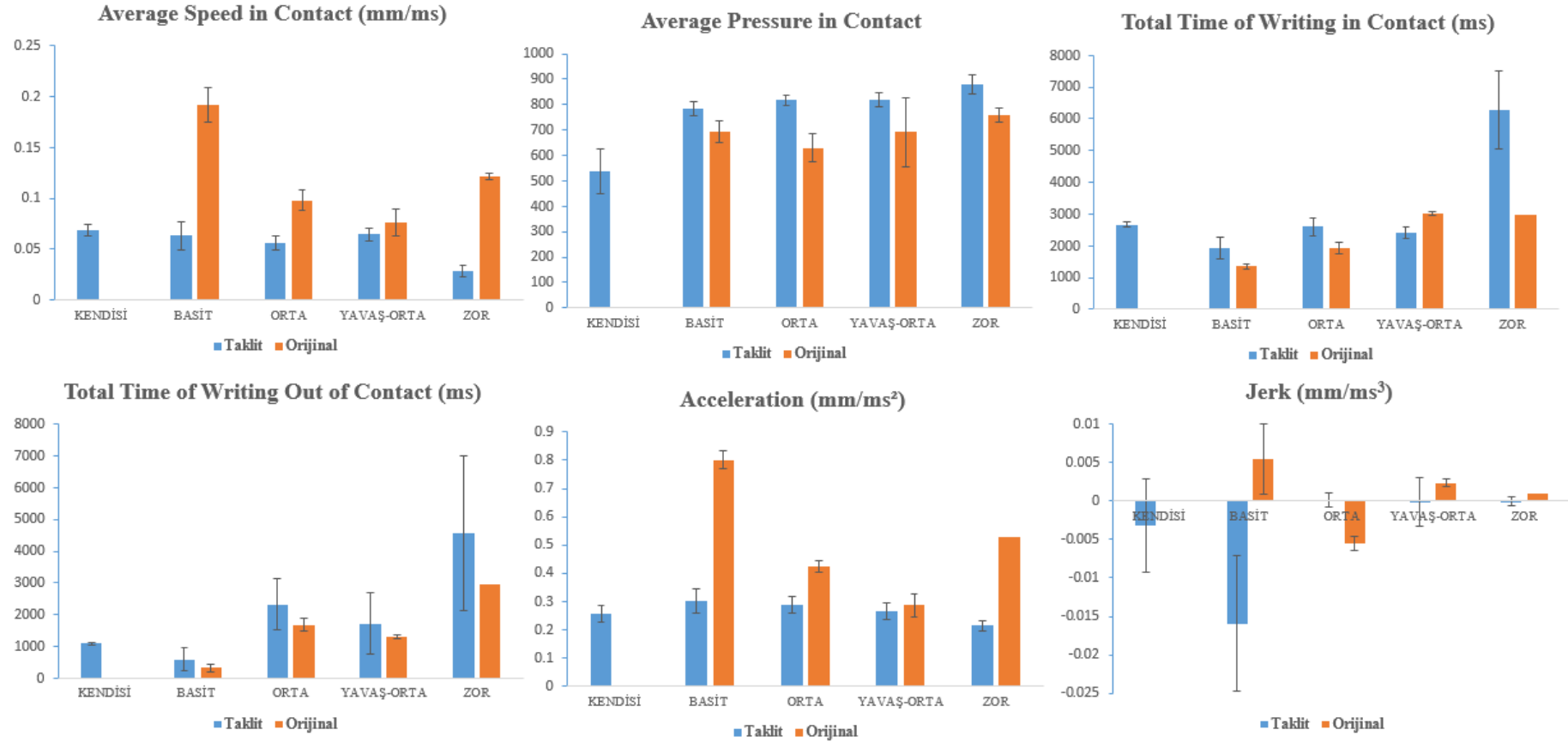
Çalışmaya katılan taklitçilerin kendi orijinal imza verileri ile taklit olarak attıkları imzaların verileri Şekil 46 ile Şekil 55 arasında yer alan grafiklerde gösterilmiştir. Aynı zamanda taklidi yapılan farklı tersimdeki imza örneklerinin orijinal verileri de grafiklere eklenerek tüm verilerin bir arada mukayesesine imkan verilmiştir. “Average Speed in Contact” ve “Average Pressure in Contact”, “Total Time of Writing in Contact”, “Total Time of Writing out of Contact” ve “Acceleratio” ve “Jerk” açısından veriler değerlendirilmiş ve bu verilerden taklitçinin farklı zorluktaki imzaları taklit ederken kendi verileri ile arasında anlamlı fark olanlarla olmayanlar belirlenmiştir.

4.2.5.1. Bir Numaralı Taklitçinin Kendi Orijinal İmza Verileri İle Taklit İmzalarının Karşılaştırılması



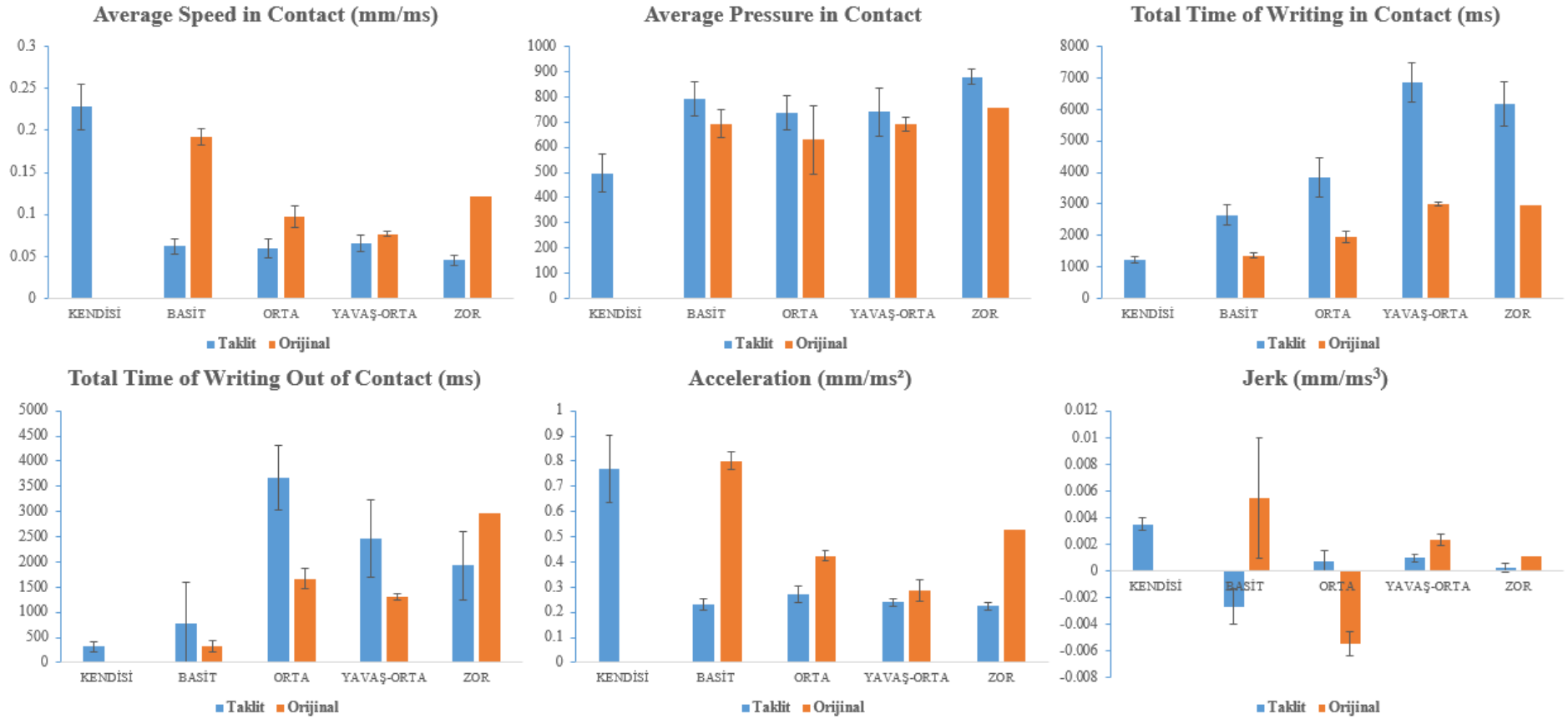
Şekil 45. Bir numaralı taklitçinin kendi imza verilerinin ortalama ve standart sapmaları ile taklit olarak attıkları imzaların ve taklidi yapılan imza örneklerinin orijinal verilerinin ortalama ve standart sapmaları değerlerinin karşılaştırılması.

4.2.5.2. İki Numaralı Taklitçinin Kendi Orijinal İmza Verileri İle Taklit İmzalarının Karşılaştırılması



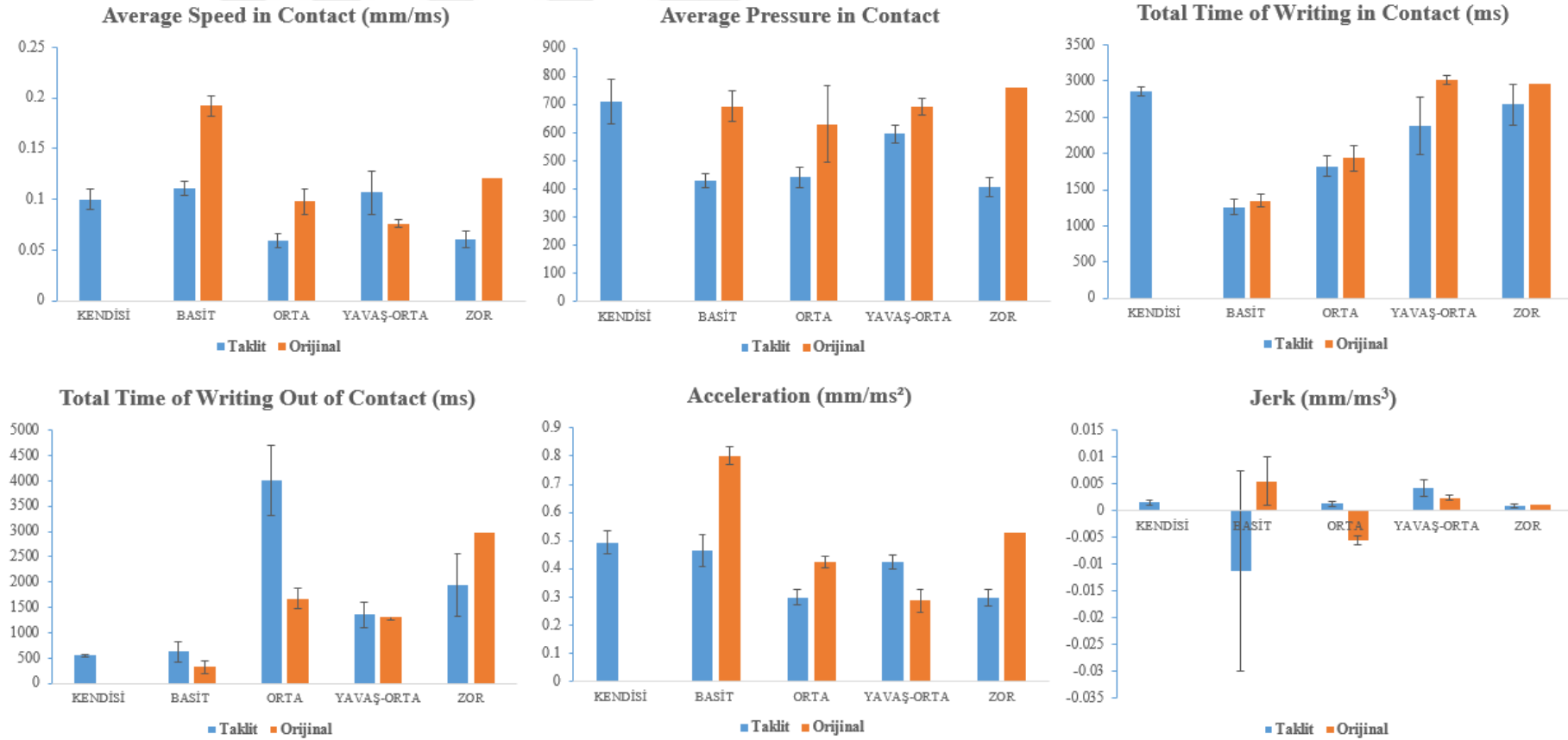
Şekil 46. İki numaralı taklitçinin kendi imza verilerinin ortalama ve standart sapmaları ile taklit olarak attıkları imzaların ve taklidi yapılan imza örneklerinin orijinal verilerinin ortalama ve standart sapmaları değerlerinin karşılaştırılması.

4.2.5.3. Üç Numaralı Taklitçinin Kendi Orijinal İmza Verileri İle Taklit İmzalarının Karşılaştırılması



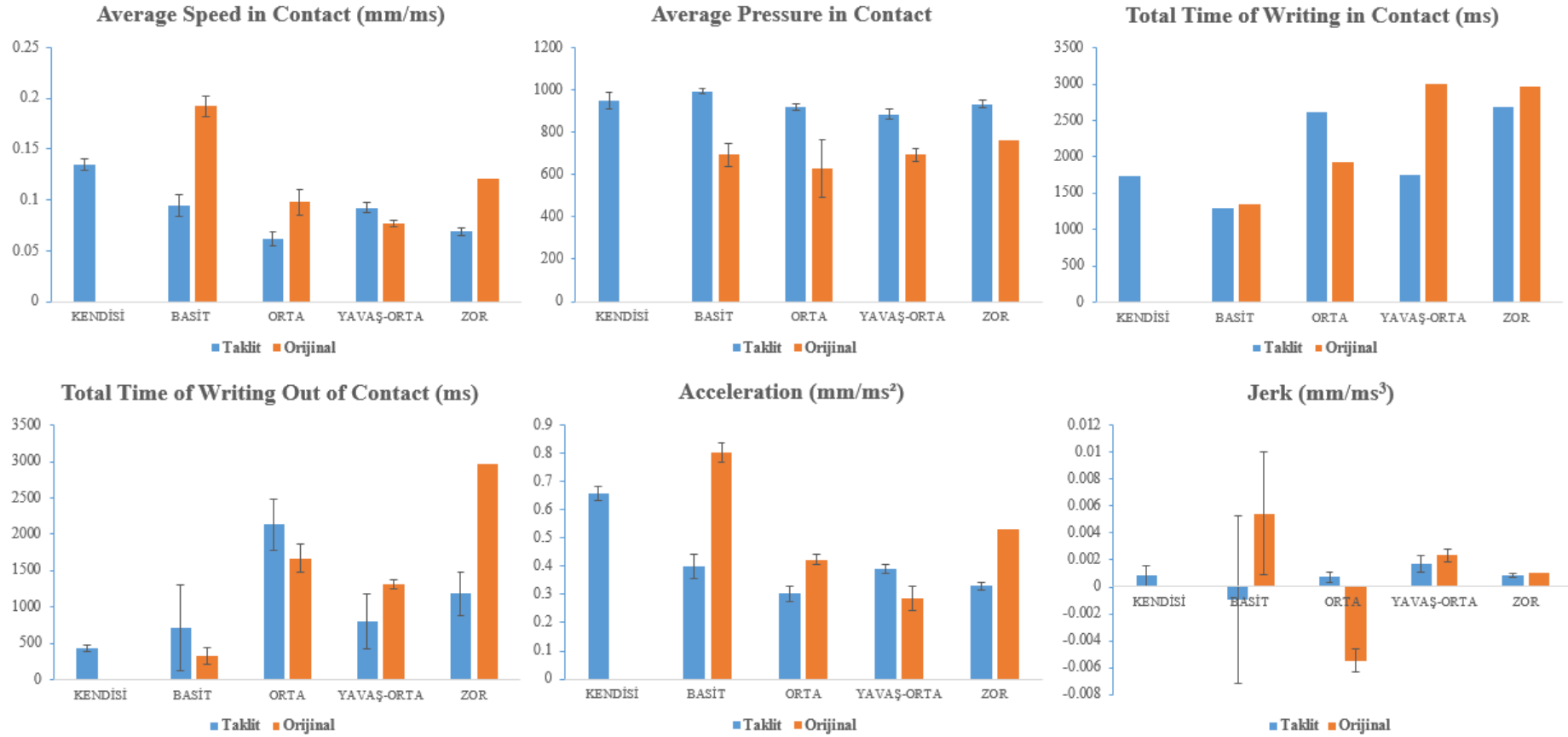
Şekil 47. Üç numaralı taklitçinin kendi imza verilerinin ortalama ve standart sapmaları ile taklit olarak attıkları imzaların ve taklidi yapılan imza örneklerinin orijinal verilerinin ortalama ve standart sapmaları değerlerinin karşılaştırılması.

4.2.5.4. Dört Numaralı Taklitçinin Kendi Orijinal İmza Verileri İle Taklit İmzalarının Karşılaştırılması



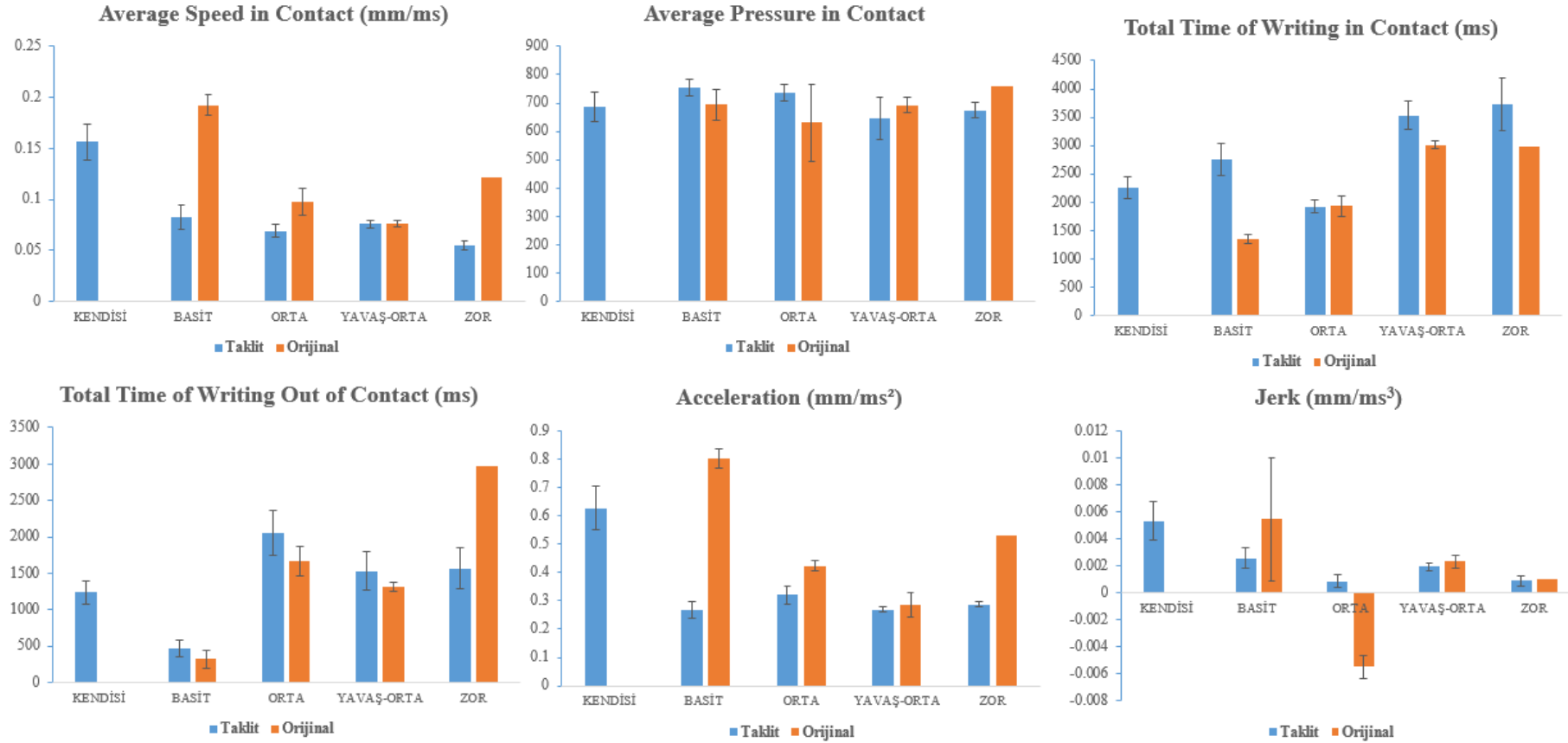
Şekil 48. Dört numaralı taklitçinin kendi imza verilerinin ortalama ve standart sapmaları ile taklit olarak attıkları imzaların ve taklidi yapılan imza örneklerinin orijinal verilerinin ortalama ve standart sapmaları değerlerinin karşılaştırılması.

4.2.5.5. Beş Numaralı Taklitçinin Kendi Orijinal İmza Verileri İle Taklit İmzalarının Karşılaştırılması



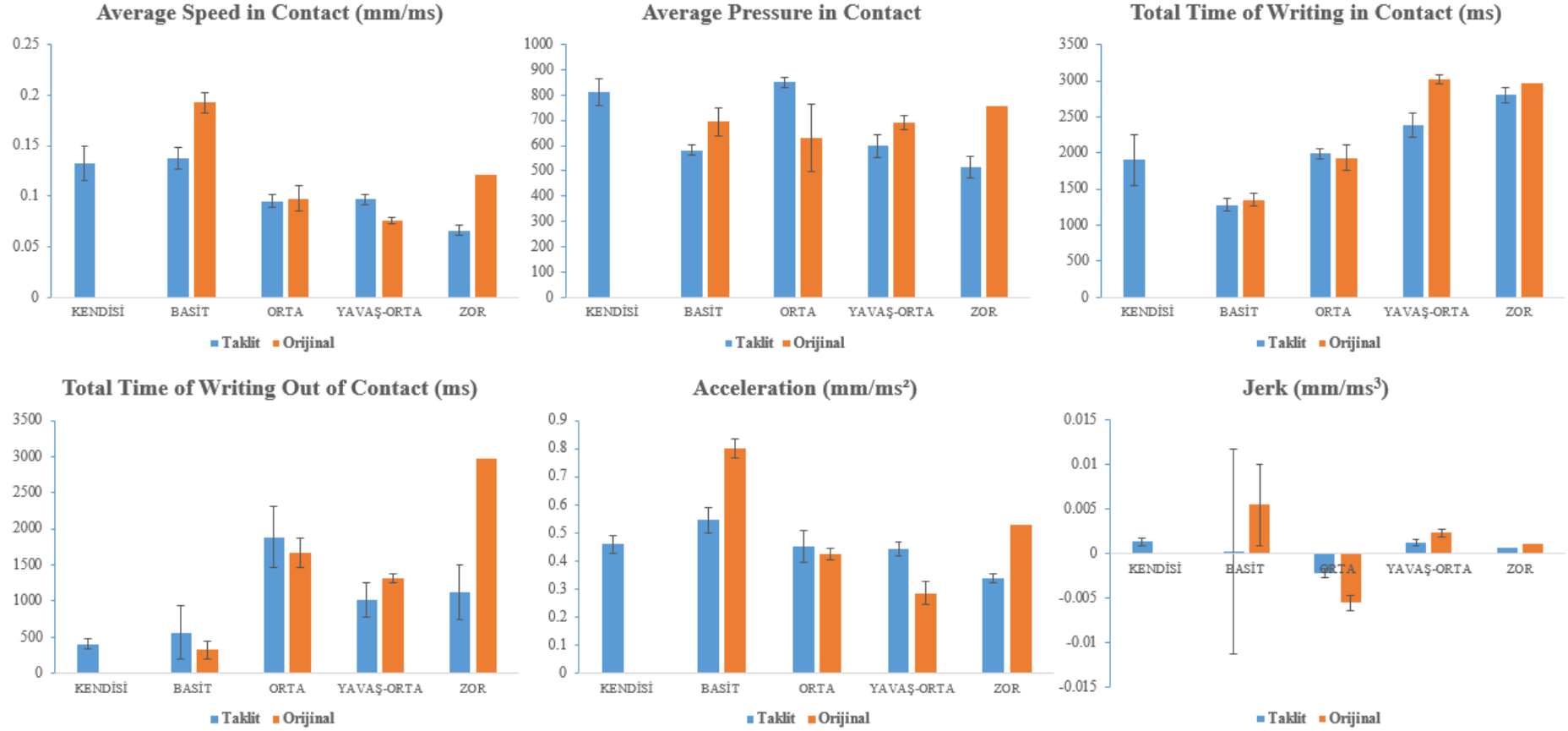
Şekil 49. Beş numaralı taklitçinin kendi imza verilerinin ortalama ve standart sapmaları ile taklit olarak attıkları imzaların ve taklidi yapılan imza örneklerinin orijinal verilerinin ortalama ve standart sapmaları değerlerinin karşılaştırılması.

4.2.5.6. Altı Numaralı Taklitçinin Kendi Orijinal İmza Verileri İle Taklit İmzalarının Karşılaştırılması



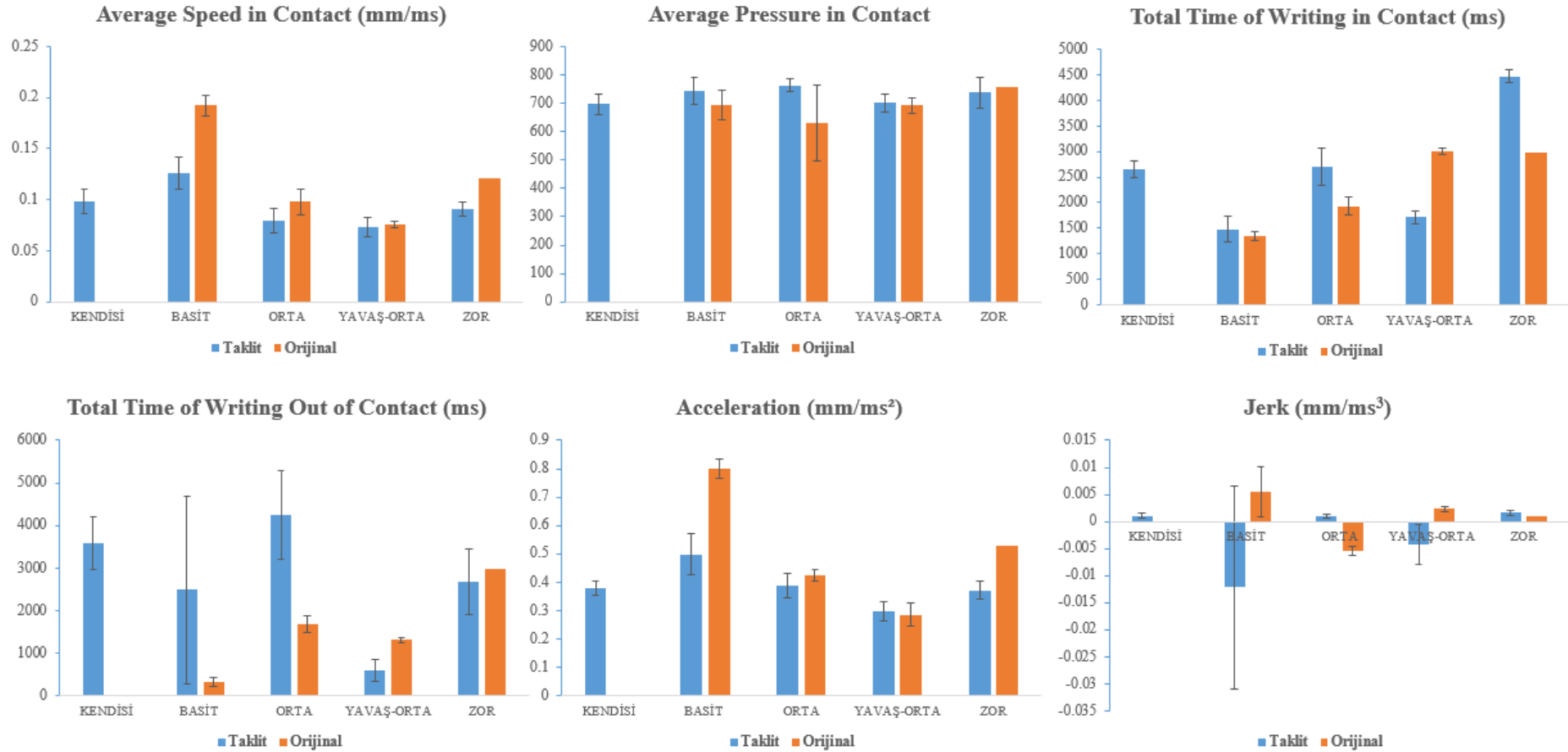
Şekil 50. Altı numaralı taklitçinin kendi imza verilerinin ortalama ve standart sapmaları ile taklit olarak attıkları imzaların ve taklidi yapılan imza örneklerinin orijinal verilerinin ortalama ve standart sapmaları değerlerinin karşılaştırılması.

4.2.5.7. Yedi Numaralı Taklitçinin Kendi Orijinal İmza Verileri İle Taklit İmzalarının Karşılaştırılması



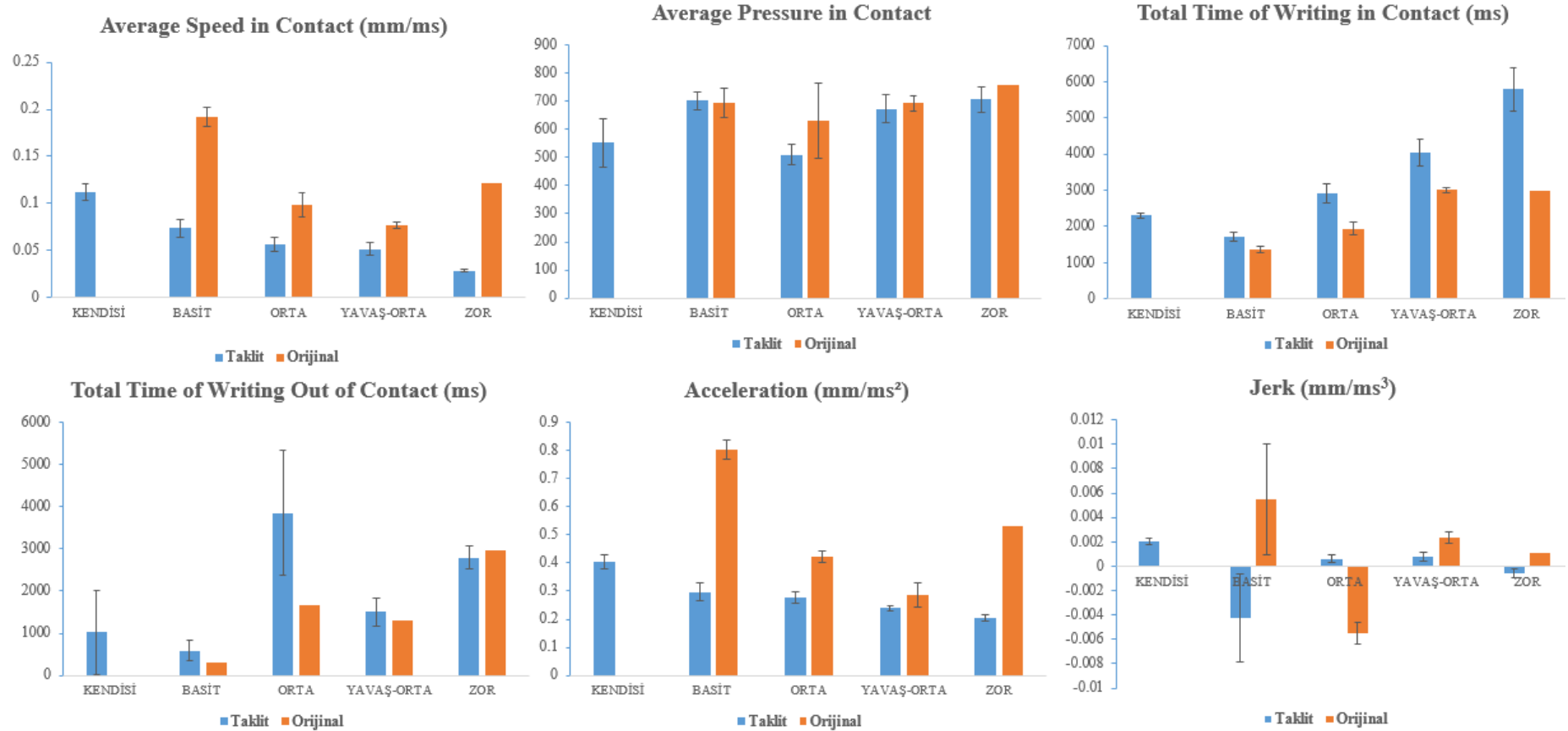
Şekil 51. Yedi numaralı taklitçinin kendi imza verilerinin ortalama ve standart sapmaları ile taklit olarak attıkları imzaların ve taklidi yapılan imza örneklerinin orijinal verilerinin ortalama ve standart sapmaları değerlerinin karşılaştırılması.

4.2.5.8. Sekiz Numaralı Taklitçinin Kendi Orijinal İmza Verileri İle Taklit İmzalarının Karşılaştırılması



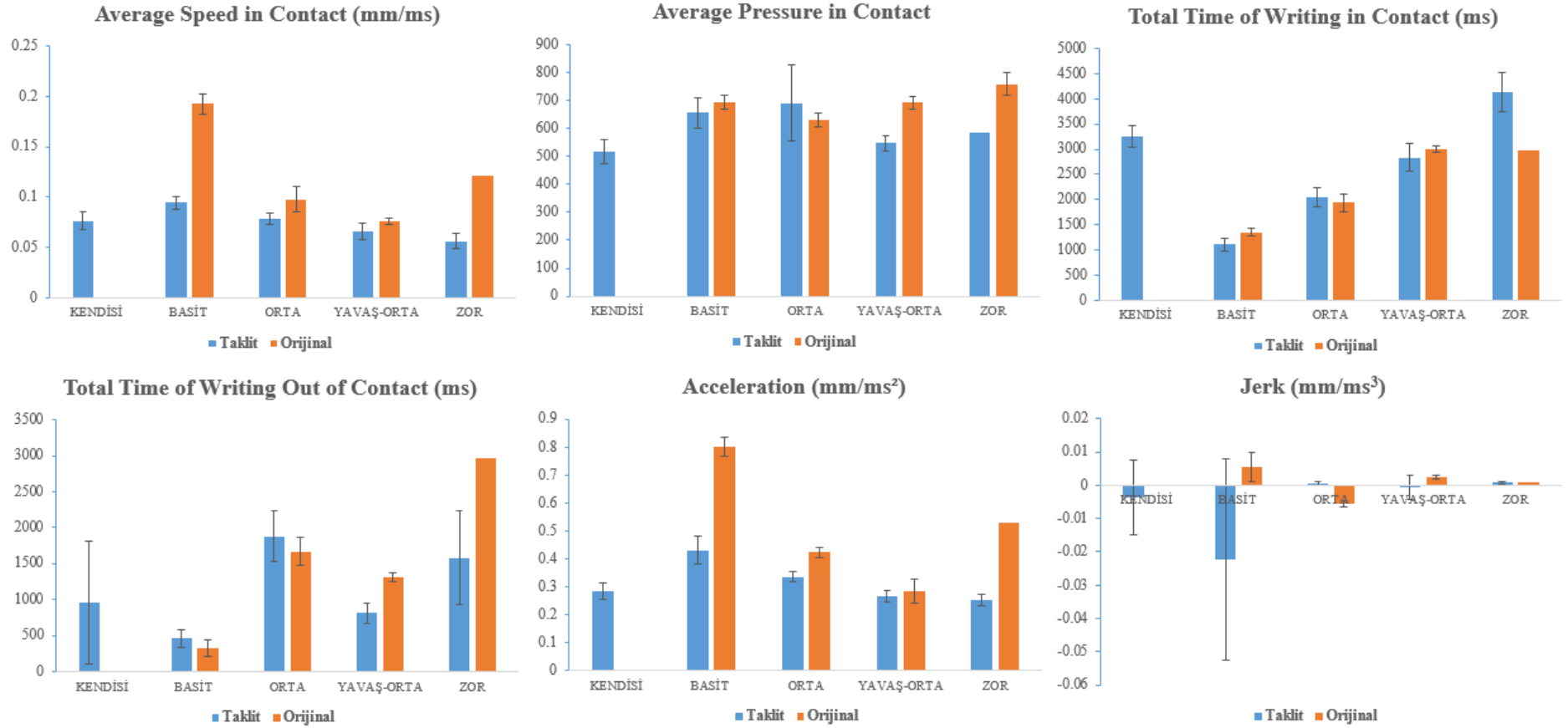
Şekil 52. Sekiz numaralı taklitçinin kendi imza verilerinin ortalama ve standart sapmaları ile taklit olarak attıkları imzaların ve taklidi yapılan imza örneklerinin orijinal verilerinin ortalama ve standart sapmaları değerlerinin karşılaştırılması.

4.2.5.9. Dokuz Numaralı Taklitçinin Kendi Orijinal İmza Verileri İle Taklit İmzalarının Karşılaştırılması



Şekil 53. Dokuz numaralı taklitçinin kendi imza verilerinin ortalama ve standart sapmaları ile taklit olarak attıkları imzaların ve taklidi yapılan imza örneklerinin orijinal verilerinin ortalama ve standart sapmaları değerlerinin karşılaştırılması.

4.2.5.10. On Numaralı Taklitçinin Kendi Orijinal İmza Verileri İle Taklit İmzalarının Karşılaştırılması



Şekil 54. On numaralı taklitçinin kendi imza verilerinin ortalama ve standart sapmaları ile taklit olarak attıkları imzaların ve taklidi yapılan imza örneklerinin orijinal verilerinin ortalama ve standart sapmaları değerlerinin karşılaştırılması.

4.2.6. Farklı Tersime Sahip İmzaların Taklitçilerinin Kendi İmza Verileri ile Taklit İmza Verilerinin Karşılaştırılması

Tablo XXIII’da ki farklı tersimdeki imza örneklerini taklit eden on katılımcıya ait imza verilerinin Wilcoxon Analizi sonuçları verilmiştir. Beklenenin aksine stylus kalemin tabletle temas halinde iken okunan hız verisi tüm katılımcıların kendi hızları açısından anlamlı olarak farklı ve kendi hızlarından daha düşük bulunmuştur. Ekranla temas halindeki basınç verisi tüm taklitçiler açısından değerlendirildiğinde kendi basınç değerleri ile taklitleri arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. Yine ekranla temas halinde iken elde edilen toplam zaman verisi orta-yavaş ve zor imzalarda anlamlı olarak farklı bulunmuş, kalem ucu ekran ile temas etmeksizin kalem ucunun hareket süresini ölçen “Total Time of Writing in Contact” verisi orta, orta-yavaş ve zor imzalarda kendisine kıyasla anlamlı olarak farklı ve yüksek olduğu görülmüştür. Birim zamanda hızlanmayı temsil eden “Acceleration” değeri orta, orta-yavaş ve zor imzalarda kendisine kıyasla anlamlı olarak farklı ve düşük; birim zamanda ivmedeki değişimi ifade eden “Jerk” değerleri ise sadece basit imza taklitlerinde farklı olup kişilerin kendi “Jerk” değerinden oldukça düşüktür.

Tablo XXIII. Taklitçilerin kendi orijinal verileri ile taklit ettik ederken oluşturdukları imzaların karşılaştırma tablosu.

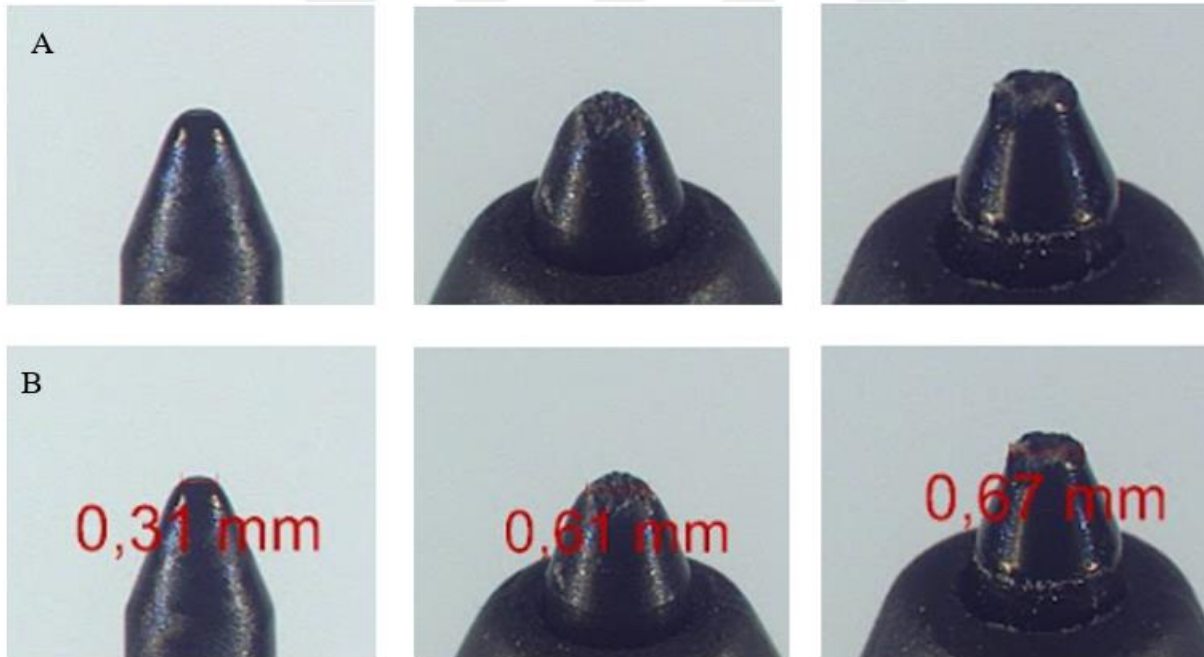
		Ortalama	Std. Sapma	Minimum	Maksimum	Z	p
Average Speed in Contact	KENDİ	0,1226	0,0441	0,0690	0,2211		
	BASİT	0,0831	0,0255	0,0510	0,1291	2,09	0,0367

	ORTA	0,0662	0,0226	0,0430	0,1241	2,70	0,0069
	ORTA-YAVAŞ	0,0693	0,0231	0,0403	0,0960	2,80	0,0051
	ZOR	0,0504	0,0170	0,0262	0,0782	2,80	0,0051
Pressure in Contact	KENDİ	652,9594	161,1529	407,5000	975,1000		
	BASİT	724,9219	162,9238	431,3500	993,9500	1,38	0,1688
	ORTA	711,2050	141,6699	440,5500	901,5000	0,76	0,4446
	ORTA-YAVAŞ	687,4825	129,3661	524,1500	901,7000	0,15	0,8785
	ZOR	725,9068	179,4105	408,6300	933,3875	1,07	0,2845
Total Time of Writing in Contact	KENDİ	2587,07	1475,83	1182,67	6236,44		
	BASİT	2179,18	767,88	1371,90	3549,95	0,66	0,5076
	ORTA	2926,24	1160,68	2053,70	5962,15	0,56	0,5751
	ORTA-YAVAŞ	4449,66	2357,95	1886,90	9564,00	2,09	0,0367
	ZOR	5035,55	1935,17	2524,55	8037,50	2,50	0,0125
	KENDİ	1039,07	820,42	310,50	2654,12		

Total Time of Writing out of Contact	BASİT	1011,87	564,95	511,75	2089,45	0,05	0,9594
	ORTA	4008,34	1699,49	2198,90	6483,30	2,70	0,0069
	ORTA- YAVAŞ	2288,81	1071,96	922,50	4456,75	2,19	0,0284
	ZOR	2716,24	1166,53	1462,25	4765,55	2,60	0,0093
Acceleration	KENDİ	0,4690	0,1451	0,2839	0,7701		
	BASİT	0,3721	0,1403	0,2122	0,6772	1,27	0,2026
	ORTA	0,3176	0,0843	0,2423	0,5289	2,29	0,0218
	ORTA- YAVAŞ	0,3239	0,0989	0,2122	0,4958	2,40	0,0166
	ZOR	0,2827	0,0752	0,2033	0,4367	2,70	0,0069
Jerk	KENDİ	0,0970	0,2134	-0,0036	0,6261		
	BASİT	0,0203	0,0825	-0,0156	0,2544	2,70	0,0069
	ORTA	0,0301	0,0930	0,0001	0,2949	1,78	0,0745
	ORTA- YAVAŞ	0,0258	0,0785	-0,0001	0,2493	1,17	0,2411
	ZOR	0,0279	0,0873	-0,0006	0,2763	1,68	0,0926

4.3. Stylus Kalem Uçlarının Kuvvet Normalizasyon Ölçümleri

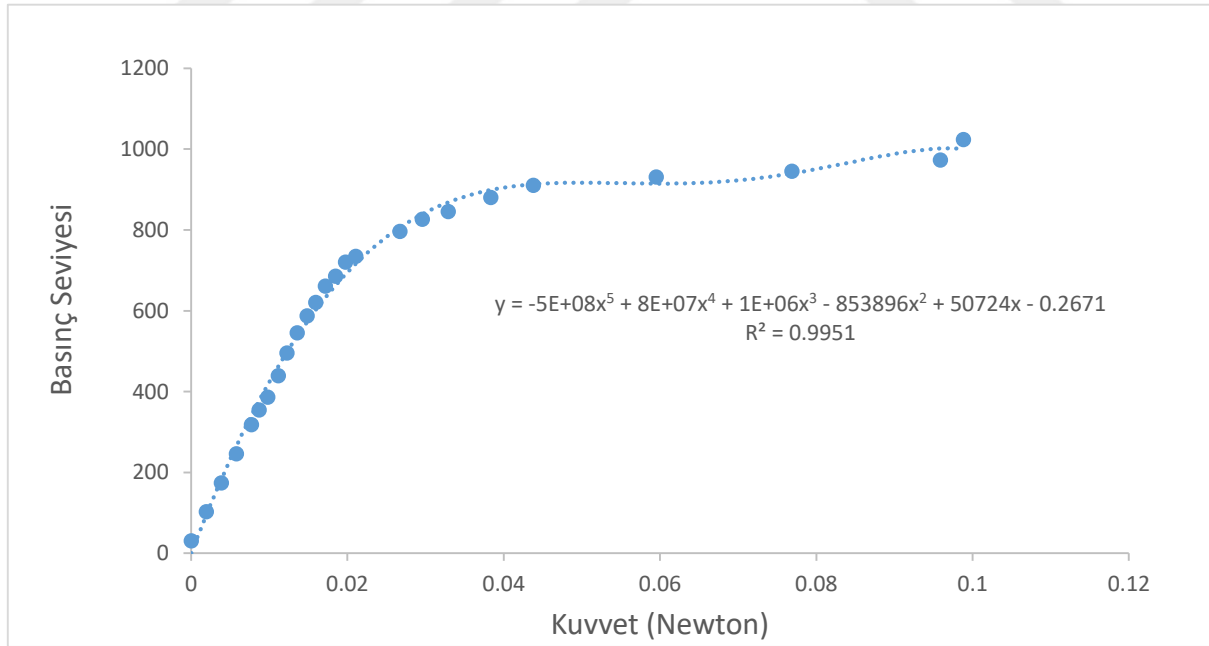
İmza örneklerinin alımında kullanılan stylus kalem uç kısmı esnek kauçuk (rubber foam) malzemeden imal edilmiş olup kullanım miktarına bağlı olarak zamanla aşınmaktadır. Yıpranmamış (hiç kullanılmamış), az yıpranmış ve çok yıpranmış kalem uçları VSC800 cihazı altında görüntülenmiştir. Yaklaşık beş bin kez farklı şekiller ve yazılar oluşturmada kullanılan kalem ucunun yıpranmasının yıpranmış ve az yıpranmış kaleme kıyasla daha fazla olduğu Şekil 56. A’da görülmektedir ve kalem ucunun kullanımın artmasıyla giderek küntleştiği Şekil B’deki çap ölçümlerinde görülmektedir.



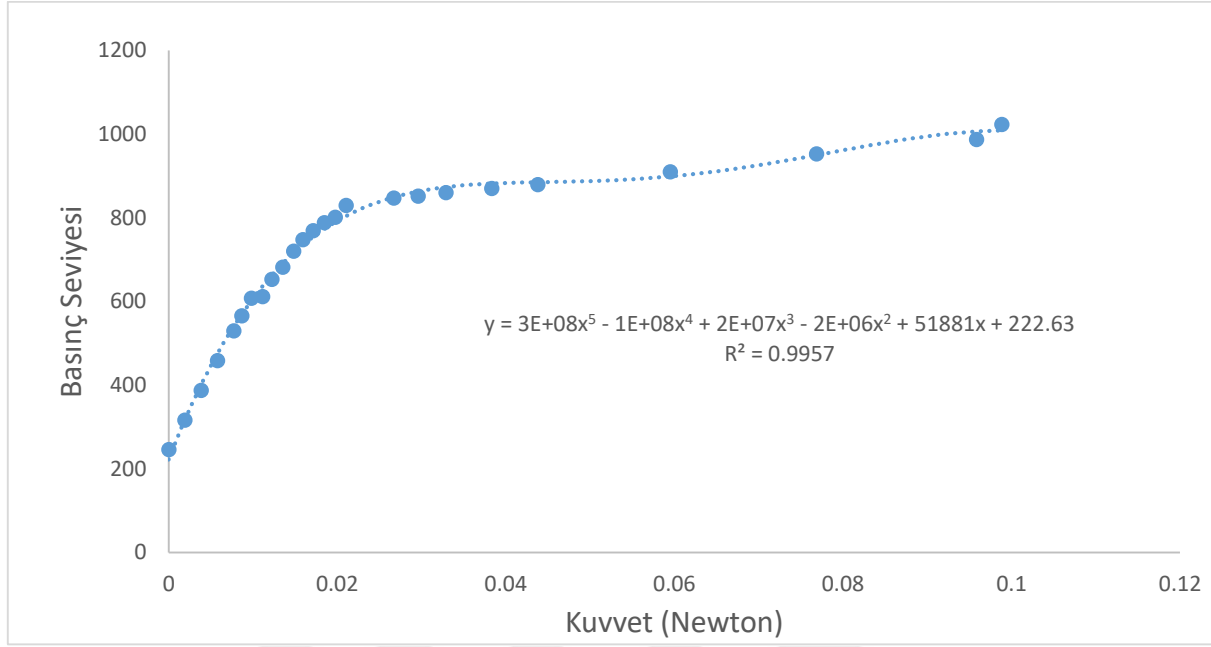
Şekil 55. Soldan sağa yıpranmamış (yeni), az yıpranmış ve çok yıpranmış kalem uçları ve çapları.

Farklı oranlarda aşınmış olduğu tespit edilen stylus kalemlere sırasıyla artan ağırlıklar önce yüklenmiş ve her bir ağırlık yüklenirken tabletin ölçtüğü basınç seviyesi kaydedilmiştir. Aynı şekilde kalemlerin üzerinde bulunan yükler hafifletilirken tabletin okuduğu basınç değerleri kaydedilip analiz edilmiştir. Aynı kaleme ağırlık yükleme ve hafifletme sırasında elde edilen basınç değerleri incelendiğinde kalemin üzerine ağırlık uygulanmadan sadece teması sırasında okunan basınç değeri ile kalemin üzerindeki ağırlıklar hafifletilip üzerinde hiç ağırlık kalmadığı halde okunan basınç değerinin aynı olması beklenirken farklı olduğu görülmüştür. Bu durum üç farklı aşınma oranına sahip kalem uçları ile yapılan ölçümlerde de gerçekleşmiştir.

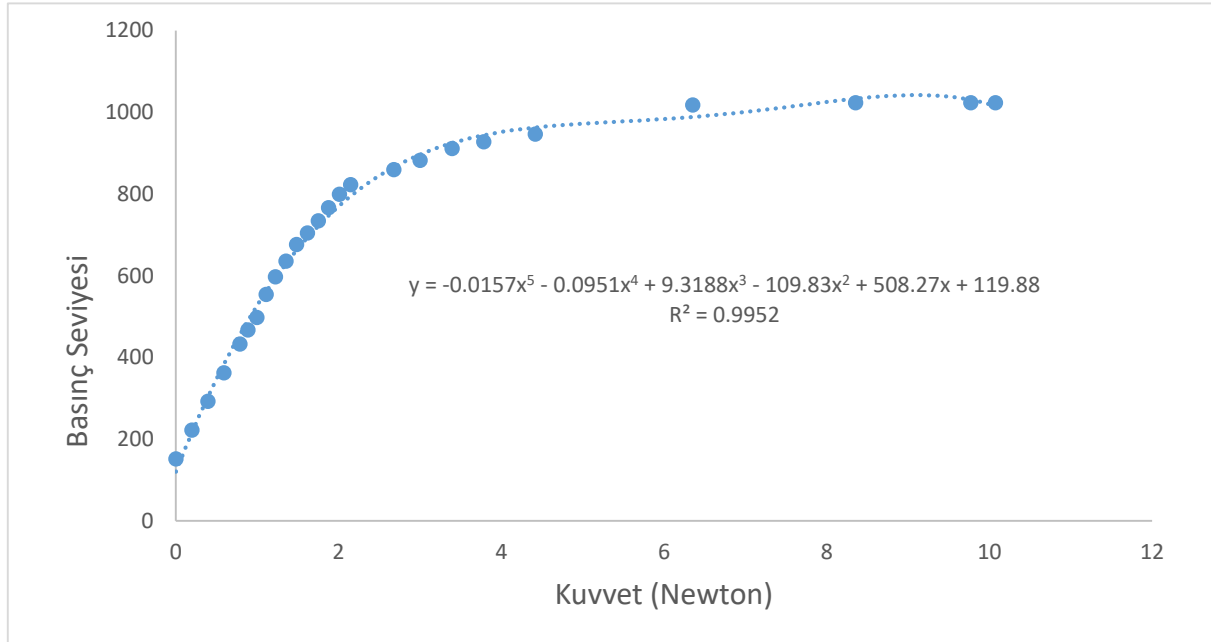
Uygulanan ağırlıklar ile basınç seviyesi arasındaki korelasyonu en iyi 5. dereceden polinom fonksiyonunun temsil ettiği görülmüştür.



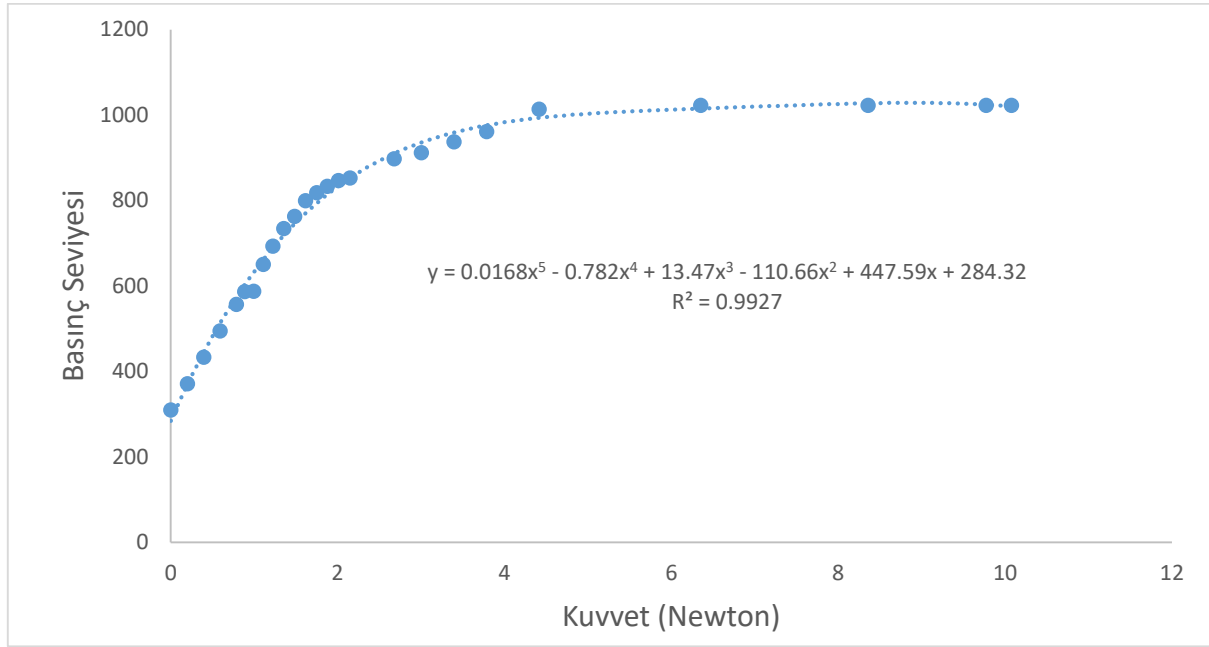
Şekil 56. Yıpranmamış uçlu stylus kaleme yüklenen farklı ağırlıklara karşı okunan basınç değeri ve aralarındaki korelasyon bağıntısı



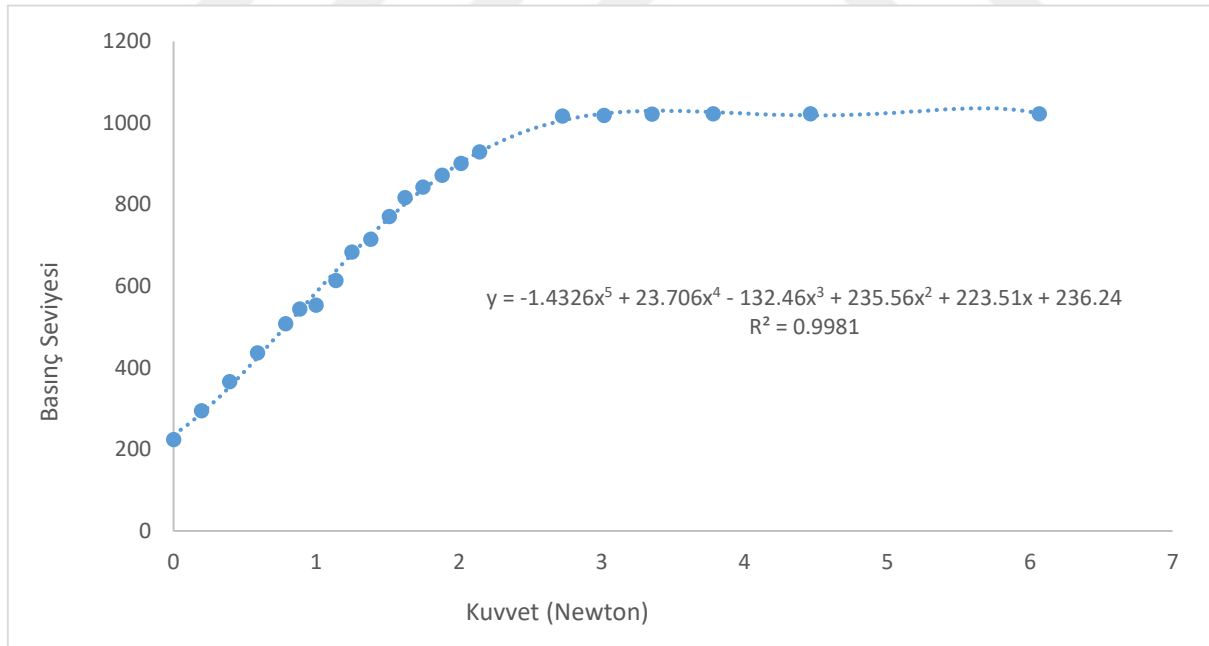
Şekil 57. Yıpranmamış uçlu stylus kalemin üzerinden ağırlıklar hafifletirken okunan basınç değerleri ve aralarındaki korelasyon bağıntısı



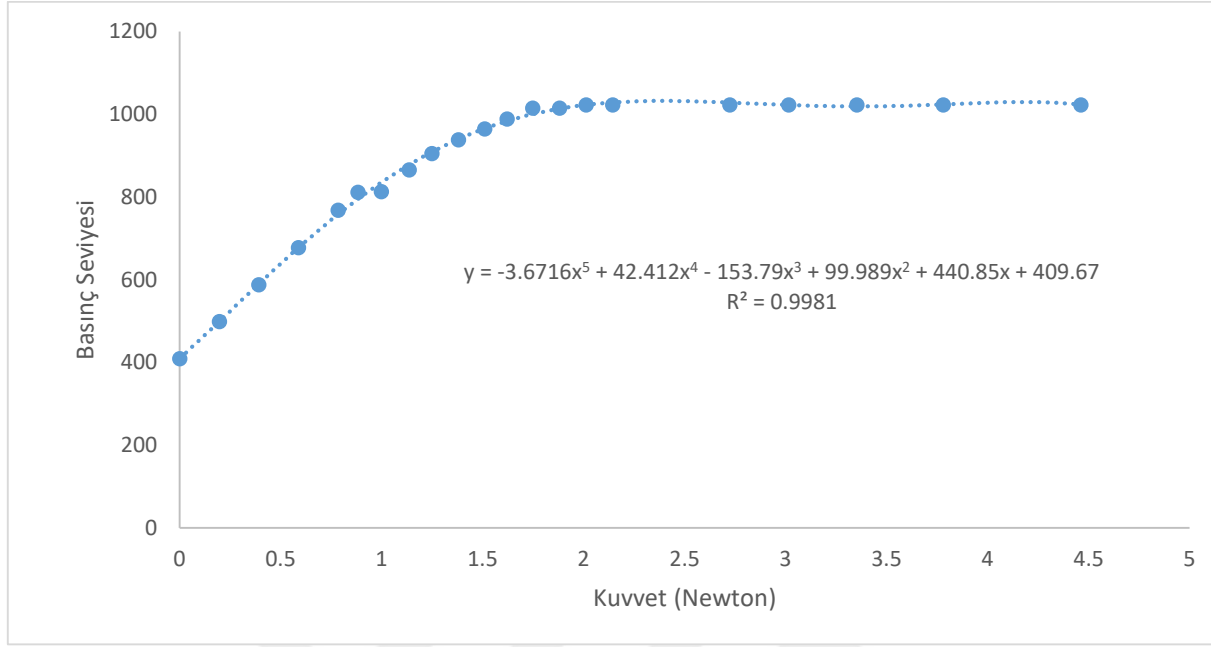
Şekil 58. Az yıpranmış uçlu stylus kaleme yüklenen farklı ağırlıklara karşı okunan basınç değeri ve aralarındaki korelasyon bağıntısı



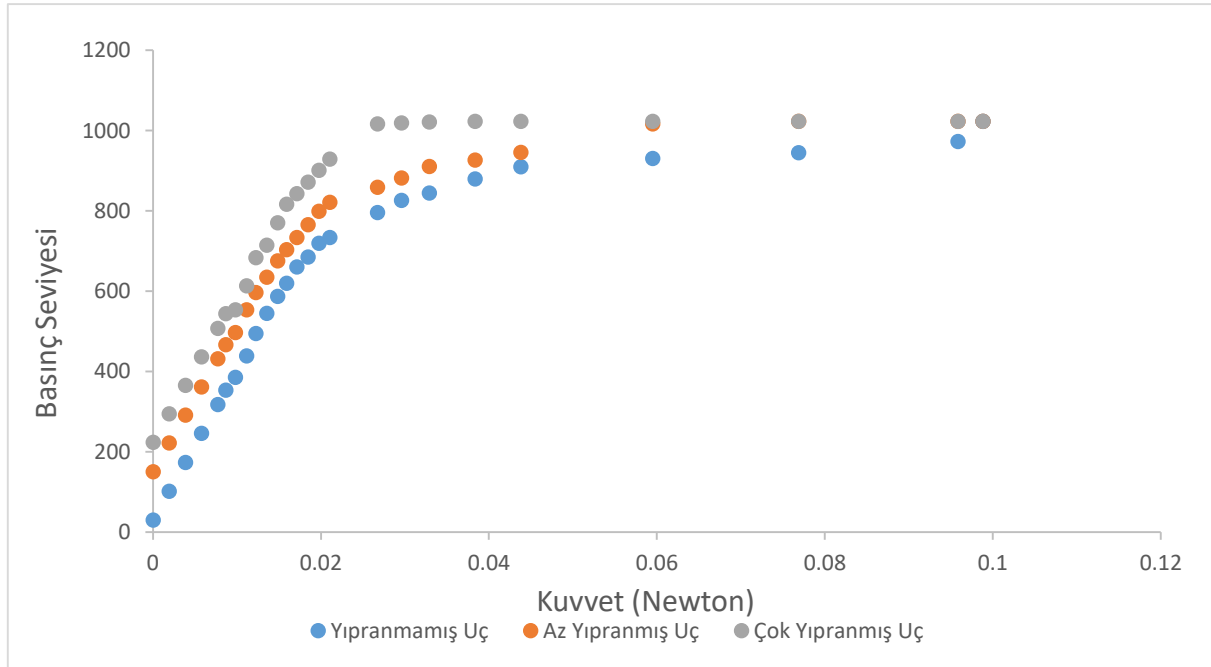
Şekil 59. Az yıpranmış uçlu stylus kalemin üzerinden ağırlıklar hafifletirken okunan basınç değerleri ve aralarındaki korelasyon bağıntısı



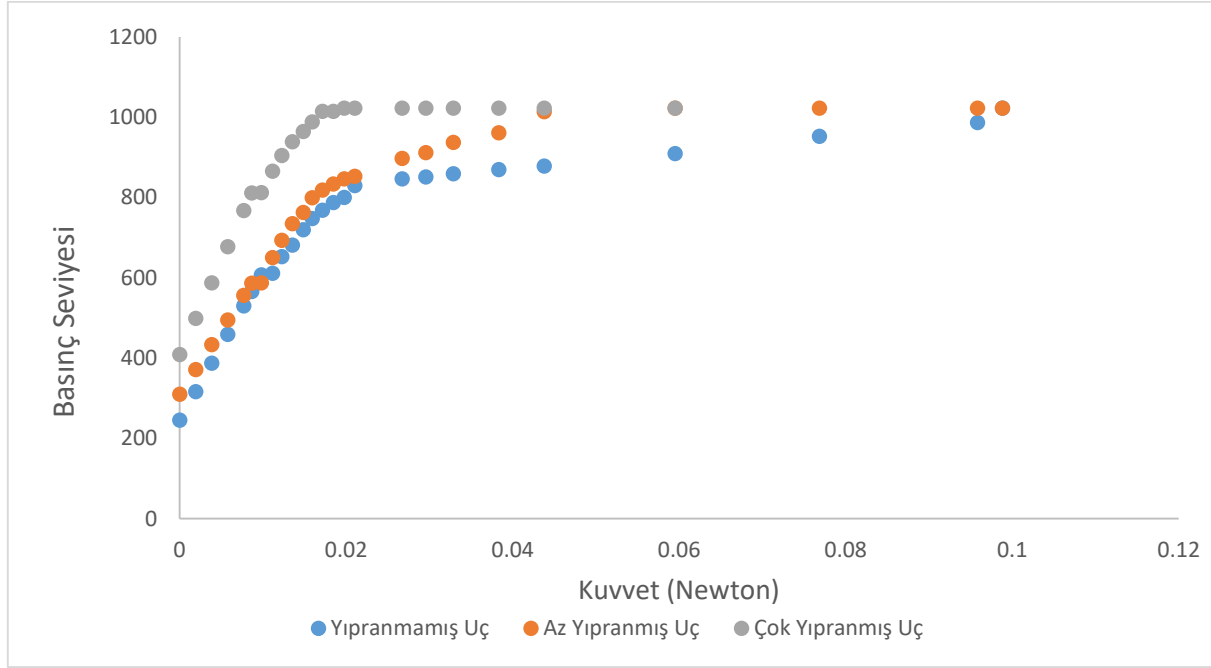
Şekil 60. Çok yıpranmış uçlu stylus kaleme yüklenen farklı ağırlıklara karşı okunan basınç değeri ve aralarındaki korelasyon bağıntısı



Şekil 61. Çok yıpranmış uçlu stylus kalemin üzerinden ağırlıklar hafifletirken okunan basınç değerleri ve aralarındaki korelasyon bağıntısı.



Şekil 62. Stylus kalem üzerine ağırlıklar yüklenirken farklı yıpranma düzeyindeki kalem uçları tarafından ekrana uygulanan kuvvete karşılık okunan basınç seviyeleri



Şekil 63. Stylus kalem üzerine ağırlıklar yüklenirken farklı yıpranma düzeyindeki kalem uçları tarafından ekrana uygulanan kuvvete karşılık okunan basınç seviyeleri

5. Tartışma

Tez çalışmasının ilk kısmında, bir yılı aşkın sürede dört farklı zaman aralığında 20'şer imza örneği sağlayan 40 katılımcının dinamik verileri olan Average Speed, Average Speed in Contact, Average Pressure in Contact, Total Time of Writing in Contact Total Time of Writing Out of Contact, Line Legth ve Line Length Out of Contact ile birlikte tarafımızca hesaplanan en-boy oranı olan H/W verileri analiz edilmiştir. Farklı zamanlarda alınan imzaların dinamik verilerinin ortalaması alınarak inceleme yapılmıştır. Bu verilerde zamanla düzenli bir farklılaşma olup olmadığı incelenmiş fakat herhangi bir karakteristik bulguya rastlanmıştır. Bu durum kişilerin imzalarının görüntüsünden elde edilen statik verileri sabit kalsa dahi dinamik verilerinin zaman içerisinde oldukça değişken olabileceğini göstermektedir. Kişilerin imza verilerinde aylara göre bir farklılık olup olmadığının belirlenmesi amacıyla istatistiksel olarak test edildiğinde sadece elin havada hareket etmesi sırasında geçen toplam sürenin ilk aya kıyasla bir yıl sonra daha çok arttığı gözlemlenmiştir.

Her katılımcıdan çalışma boyunca alınan toplam 80 imzanın yukarıda bahsedilen dinamik verileri incelendiğinde ekran yüzeyi ile temas halindeyken ölçülen imza verisi dışındaki diğer tüm verilerde en az bir katılımcının verisinin standart sapmasının yüksek olduğu görülmüştür. Standart sapması yüksek olan kişilerin tek seferde attıkları 20'şerli imza gruplarının sayısal değerleri incelendiğinde varyasyonlarının yüksek olduğu saptanmıştır. Bu nedenle bir yıllık süre içerisinde attıkları imzaların bazı verilerinin de varyasyonun yüksek olması beklenen bir sonuçtur.

Katılımcıların ilk imzaları ile bir yıl sonra alınan imzalarının verilerindeki değişim oranına bakıldığında ise elin havada hareket etme süresi ve en/boy oranı dışındaki diğer verilerinin

çoğunlukla %0 ile 10 arasında değiştiği görülmüştür. Elin havada hareket etme süresi ve en/boy (H/W) oranındaki değişim ise çoğunlukla ortalama %15 civarındadır.

Katılımcıların tüm imzalarının verilerinin ortalama değerleri cinsiyet açısından kıyaslandığında kadınların hız verilerinin ortalamasının ve standart sapmasının erkeklerden daha yüksek olduğu, kalem ucu ekran ile temas halindeyken geçen sürenin ortalamasının ve standart sapmasının kadınlarda daha yüksek olduğu bunun tersi olarak kalem ucunun ekranın üstündeki hareketi süresinin ortalamasının ve standart sapmasının erkeklerden oldukça düşük olduğu görülmüştür. Buna paralel olarak erkeklerin tablet ekranıyla temas etmeksizin kalem hareketinin toplam uzunluğu da kadınlardan daha yüksektir. Kadınların imzalarının en-boy oranı erkeklerden daha yüksek olduğu görülmektedir. En-boy oranı verisi kadınların imzalarını erkeklerinkine kıyasla daha dar yapıda tersim ettiklerini erkeklerinse daha geniş yapıda imzalar tersim ettiğini düşündürmektedir.

Katılımcıların yukarda bahsi geçen bu verileri cinsiyet açısından istatistiksel olarak test edildiğinde sadece tablet ekranıyla temas etmeksizin kalem hareketinin toplam süre verisi kadınlardan anlamlı olarak farklı ve yüksek bulunmuştur. Çalışmanın bu aşamasında elde edilen sonuçlarının mukayesesine imkan verecek bir literatür çalışması bulunmamaktadır. Kişi sayısının arttırılarak yapılacak olan ileri bir çalışma dijital imzanın dinamik verilerinin popülasyondaki dağılımı hakkında daha fikir verici olacaktır.

Çalışmanın ikinci kısmını oluşturan “Farklı Tersime Sahip İmzaların Taklitlerinin Analizi” kısmında “Basit”, “Orta”, “Yavaş-Orta” ve “Zor” olan olmak üzere dört farklı tersim tarzına sahip orijinal imza örnekleri 5 kadın ve 5 erkek katılımcıdan her biri tarafından farklı günlerde 10’ar adet

bakarak ve 10'ar adet serbest olmak üzere toplam 20 kere taklit edilmiştir. Taklitlerle orijinal imzaların ayrımının artırılması amacıyla yukarıda bahsedilen sekiz veriye ilave olarak imza boyunca alınan nokta sayısı (Number of Points), ivme (Acceleration) ve sarsıntı (Jerk) verileri de incelenmiştir. Basit düzeyde tersime sahip orijinal imzalar ile hem bakarak hem de serbest taklit imzaların verileri istatistik olarak karşılaştırıldığında orijinal imzaların Average Pressure in Contact verisi ile Line Length in Contact verileri dışındaki toplam dokuz veri taklitlerinden anlamlı olarak farklı bulunmuştur. Orijinal imzalarda veri alınan nokta sayısı ekran yüzeyine temas etmeksizin kalem ucunun hareket süresi taklitlerinden düşük olduğu görülmüştür. Bu verilere paralel olarak orijinal imzaların hızı, ivmesi ve sarsıntı değeri taklitlerden daha yüksektir. Bakarak ve serbest taklit verileri kendi aralarında karşılaştırıldığında imza boyunca alınan nokta sayısı istatistiksel olarak farklı olup bakarak taklitte daha yüksektir.

Cinsiyet açısından veriler kıyaslandığında sadece kalem ucu ekran ile temas halindeyken ölçülen basınç değeri anlamlı olarak farklı olup erkeklerde daha yüksektir. Kadınlar da ise ekran yüzeyine dokunmaksızın elin hareketinin ölçülen toplam uzunluğu erkeklerin imzalarından daha yüksek ve anlamlı olarak farklıdır.

Orta düzey zorluktaki orijinal imza örneği incelendiğinde ekran yüzeyine temas etmeksizin kalem ucunun hareket etme uzunluğu ile yüzeye temas halinde iken çizilen uzunluk verileri dışındaki dokuz veri açısından orijinal imza taklitlerinden anlamlı olarak farklı bulunmuştur. Yani orta düzey imzalar taklitlerine kıyasla daha hızlı, daha az noktadan veri alınan, daha basınçlı ve daha kısa sürede yazdığı görülmüştür. Serbest taklitler ile bakarak taklitler arasında anlamlı bir fark bulunmamıştır. Cinsiyet açısından değerlendirildiğinde ise temas halindeki basınç değeri kadınlarda daha yüksektir.

Orta düzey tersime sahip yavaş atılan orijinal imzanın taklitleri değerlendirildiğinde sadece bakarak taklit imzaların “Number of Points”, “Average Speed” ve “Total Time of Writing out of Contact” değerleri orijinal imzadan anlamlı olarak farklı olduğu görülmüştür. Bakarak taklit ve serbest taklit grupları kendi aralarında mukayese edildiğinde yine bakarak taklit imzaların imza boyunca alınan nokta sayısı serbest taklit imzalardan daha büyük ve farklı olduğu görülmüştür. Orta düzeyde tersimi olan ve yavaş atılan imza ile serbest taklitleri arasında istatistik olarak anlamlı bir fark bulunamamıştır. Cinsiyet açısından orta düzey imza taklitçilerinin verileri kıyaslandığı sadece kadınların temas halindeki basınç değerleri erkeklerinkinden daha yüksek olduğu ve bu veri açısından aralarında anlamlı fark olduğu tespit edilmiştir.

Tersimi zor olan imza örnekleri ile taklitleri kıyaslandığında ise imza boyunca alınan nokta sayısı ortalama hız değerleri, ekran yüzeyine temas etmeksizin kalem ucunun hareket etme süresi ve kalem ve tablet ekranı temas halinde iken ölçülen imza uzunluklarıyla birlikte ivme ve sarsım miktarları orijinal imzalarda taklitlerine kıyasla anlamlı olarak farklıdır. Bakarak ve serbest taklitler arasında anlamlı bir fark bulunamamıştır. Cinsiyete göre taklitçiler karşılaştırıldığında erkeklerin imzalama sırasında daha çok elini kaldırdığı ve bu yüzden kadınlara kıyasla ekran yüzeyine temas etmeksizin kalem ucunun hareket etme verisi olan “Total Time of Writing out of Contact” verisi kadınlarinkinden yüksek ve anlamlı olarak farklıdır.

Muhammed L. Ve grubunun, Linden, J. ve Nicolaides, K. N.’nin çalışmalarında hız (speed), ivme (acceleration) ve sarsıntı (jerk) verilerinin imza taklitlerinin tespitinde önemli özellikler olduğunu ve taklitlerdeki hız ve ivme genellikle gerçek imzalardan daha düşük olduğunu göstermişlerdir (73,83,84). Basit, orta ve zor tersime sahip imzaların analiz sonuçları ivme ve

sarsım açısından bu çalışma ile uyumlu olup ivme ve sarsım verileri orijinal imzalarda daha yüksek oluğu görölmüştür.

Adli belge inceleme uzmanları geleneksel metotla yaptıkları incelemelerde taklit imzaları orijinalinden ayırt etmede en önemli özelliklerden biri olarak basıncı kullanmaktadırlar (1,2,6,7,10,85,86). Literatürde dijital olarak alınan imzalarla yapılan sahtecilik çalışmalarında basınç verisi değerlendirildiğinde çalışmaların sonuçlarında farklılıklar olduğu görölmüştür. Bu farklılıkların nedeni çalışmalarda kullanılan farklı donanım veya yazılımla ilgili sorunlardan kaynaklanabilmektedir (64,65,69,72,73,87). Güncel olarak yapılan bazı çalışmalarda ise taklit imzaların basıncının ortalamasının yüksek olduğu görölmüştür (73,74). Basıncın taklit imzalarda yüksek bulunmasının nedeni taklit eden kişinin üzerindeki streten kaynaklandığını düşünülmektedir (88).

Caligiuri ve Mohammed'in yaptığı çalışmada harf içeren, hem harf hem şekil içeren ve sadece şekil içeren olmak üzere üç farklı stilde imza örneklerinin taklidi gerçekleştirilmiştir (84). Çalışmalarının sonucunda orijinal imza ile taklitlerin basıncı arasında bir fark bulunamamıştır. Caligiuri ve Mohammed'in çalışmasına paralellik göstererek basit tersimli orijinal imzanın basınç değerleri ile taklitleri arasında bu çalışmada da anlamlı fark bulunamamıştır. Bu durumun imza alımında kullanılan tabletin basınç seviyesini göreceli olarak ölçmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Dinamik imza kategorisinde olan havadaki kalem hareketleri Dewhurst ve ark. tarafından adli amaçlarla incelenmiştir. Tersimi zor imza örnekleri seçerek imzaları taklit etmişler ve kalem yazı yüzeyinden ayrılrsa bile imza hareketlerinin akıcı ve sürekli kaldığını bulmuşlardır (75) Dewhurst ve arkadaşları ayrıca havadaki verilerin (yörüngeler gibi) yüzeydeki veriler kadar ayırt edici

olduğunu ve hatta bir imza görüntüsünde görülemeyecekleri için adli amaçlar için daha uygun olabileceğini bulmuştur. Bu çalışmada kalem ucu ekranın üstünde ve havadayken alınan veriler çoğunlukla istatistiksel olarak anlamlı çıkmamıştır.

Kişilerin imzaları taklit ederken kendi orijinal verilerine yaklaşıp yaklaşmadığının belirlenebilmesi amacıyla kişinin kendi orijinal verisi ile taklitte kullandıkları imzaların verileri karşılaştırılmıştır. Kalem ucu tablet ekranı ile temas halinde iken ölçülen orijinal ve taklit imzaların hız değerleri arasında anlamlı fark olup kendi hızı taklitlere kıyasla daha yüksektir. Ekran ile kalem ucu temas halindeyken ölçülen toplam yazma süresi orta- yavaş ve zor terimli imzalar için oldukça yüksek olup kişilerin kendi hızlarının yaklaşık iki katı kadardır. Ekranla temas etmeksizin kalem ucunun toplam havada hareket etme süresi kendi imzasına kıyasla orat, orta-yavaş ve zor imzaları taklidinde daha yüksektir. Kişilerin genel olarak kendi ivme değerleri imza taklidi yaparken düşmektedir. İstatistiksel olarak mukayese edildiklerinde ise kişilerin kendi ivmeleri ile orta, orta-yavaş ve zor imza taklitlerinin ivme değerleri arasında anlamlı fark bulunmaktadır. Sarsıntı değeri olan jerk verisi ise kişilerin kendi imzalarında yüksek taklitlerinde düşüktür. İstatistiksel olarak ise sadece basit tersimli imzaların taklidinde anlamlı fark olduğu görülmektedir.

Çalışmanın son kısmı olan uçları farklı oranlarda aşınmış olan stylus kalemler aracılığı ile uygulanan kuvvetin tablet tarafından ölçülen basınç ile korelasyon eğrisi belirlenerek kalemlere uygulanan kuvvetin normalizasyonunu sağlamak amacıyla yapılmıştır. Stylus kalemlere farklı ağırlıklara sahip kütleler önce yüklenmiş ve her bir ağırlık yüklenirken tabletin ölçtüğü basınç seviyesi kaydedilmiş ve sonrasında kalemlerin üzerinde bulunan yükler hafifletilerek tekrar basınç değerleri elde edilmiştir. Aynı kaleme ağırlık yükleme ve hafifletme sırasında elde edilen basınç değerleri incelendiğinde kalemin üzerine ağırlık konulmadan sadece teması sırasında okunan

basınç değeri ile kalemin üzerindeki ağırlıklar hafifletilip üzerinde hiç ağırlık kalmadığı halde okunan basınç değerinin aynı olması beklenirken farklı olduğu görülmüştür. Bu durum üç farklı aşınma oranına sahip kalem için de gerçekleşmiştir. Bunun nedeni fizikte tanımlanan hysteresis etkisinden kaynaklanmaktadır (78). Hysteresis etkisi malzemenin bir önceki halini sürdürme eyleminin ölçüsüdür. Yani artarak uygulanan ağırlıkla birlikte yumuşak kalem ucunun esneyerek yayılması ve üzerindeki ağırlıklar kaldırılırken esnemiş halinin sürdürmeye çalışması yükleme ve hafifletme sırasında kalem üstünde herhangi bir yük olmadığı halde basınç değerinin farklı okunmasına neden olmuştur.

Tablet yüzeyine uygulanan ağırlıklara göre değişen basınç seviyesi arasındaki korelasyonu en iyi 5. derecen polinom fonksiyonu temsil ettiği belirlenmiştir.

Ayrıca, farklı oranda yıpranmış kalem uçlarına değişen ağırlıklar uygulandığında çok yıpranmış olan kalem ucu aracılığı ile tabletin algıladığı basınç miktarı diğer uçlara kıyasla maksimum basınç hassasiyeti olan 1023'e düşük ağırlıklarda daha çabuk ulaşmıştır. Örneğin çok yıpranmış uçlu kalem ile tablet yüzeyine 0,03 Newtonluk bir kuvvet (ağırlık) uygulandığında 1023 seviyesinde basınç değeri elde edilirken hiç yıpranmamış uçlu stylus kaleme yaklaşık 0,09 Newtonluk kuvvet uygulandığında maksimum basınç seviyesine ulaşılmaktadır. Bu durumun sebebi çalışmada kullanılan tabletin ve kalemin kapasitif özellikte olmalarıdır. Stylus kalemin uç kısmının çapı arttıkça tablet yüzeyindeki elektrik alanlarda o büyüklükte etkileşime geçmekte ve oluşan kapasitif etki de artmaktadır.

6.Sonuç

Elektronik belgelerin doldurulmasında yazı ve imzaların kullanılması adli belge uzmanlarına hem yeni fırsatlar hem de zorluklar sunmaktadır. Geleneksel olarak kağıt ve kalemle alınan imzalarda ölçülmesi mümkün olmayan hız basınç ve ivme gibi verilere yeni teknolojiler sayesinde uzmanlar sayısal olarak erişebilmektedirler. Öte yandan dijital olarak alınan imzaların incelenmesi geleneksel incelemeden oldukça farklıdır ve uzmanların kullanabileceği kesin ve güvenilir bir yöntem henüz tanımlanmamıştır.

Literatürde adli belge açısından dinamik verilerinin incelendiği çalışmalar az sayıda olup kimi çalışmalarda aynı veri türünü değerlendiren iki farklı grubun sonuçları birbirinden farklı olabilmektedir (73,84). Bunun en temel nedeni çalışmalarda imzanın verilerini kaydetmek için kullanılan cihazlar ve bu cihazlarla uyumlu çalışan yazılımların içerdikleri teknolojiler açısından büyük farklılıklar olmasıdır. Örneğin bazı tablet türlerinde basınç verisi doğrudan ölçülebilenken diğer tablet türlerinde basınç ekranın algıladığı birim alandaki nokta sayısı olarak kaydedilmektedir. Ayrıca imzaların ham verisini kullanarak dinamik veri sağlayan yazılımların kullanıcıya sundukları dinamik veri sayısı firmadan firmaya da değişebilmektedir.

Bu durum dijital olarak alınan imzaların incelemesi için standart yöntemlerin oluşturulmasını aksatmaktadır. Bu nedenle dijital olarak alınan imzaların uzmanlar tarafından standart ve güvenilir bir şekilde analiz edilebilmesi için kullanılan cihazların ve yazılımların incelemeye elverişli şekilde aynı verileri sağlıyor olması önemlidir.

Bu çalışmada kullanılan yazılım piyasada mevcut olan bazı yazılımlardan farklı olarak ivme ve sarsıntı verilerini sadece görsel olarak değerlendirmeye imkan vermektedir. Yazılımın sayısal

olarak sağladığı verilerin dışında bu iki veri tarafımızca imzanın ham verileri kullanılarak hesaplanmış; sahte imzalar ile orijinallerinin ayrımı yapılırken yazılımın sunduğu sayısal verilerden daha fazlası ile çalışmıştır. Elde edilen sonuçlara göre de ivme ve sarsıntı taklit imzalar ile orjinalleri ayrımında anlamlı fark verebilecek potansiyelde veriler olabilecekleri görülmüştür.

Aktif basınç ölçebilen tablet teknolojileri oldukça maliyetli olduğu için kullanıcılar tarafından çok tercih edilmemektedir. Şarj gerektirmeyen düşük maliyetli pasif kapasitif kalemelerin ve uyumlu oldukları tabletlerin kullanımı ticari hayatta oldukça yaygındır. Bu tür cihazların yoğun kullanımı bu tez çalışmasında da görüldüğü üzere kalem uçlarının yıpranmasına ve uygulanan kuvvete karşı elde edilen basınç verisinde farklılaşmalara neden olmaktadır. Bu tür yıpranmış uçlu kalemle alınan imzaların hukuki açıdan incelemesi gerektiğinde basınç versinin belge inceleme uzmanı tarafından değerlendirilmesi güç olabilir. Bu nedenle yıpranmaya müsait kalemelerin basıncında oluşabilecek farklılıklarla ilgili daha çok çalışma yapılarak kalem ucunun değiştirilmesi gereken periyotların belirlenerek basınç verisindeki yıpranmaya bağlı ölçüm farkının bir nebze de olsa önüne geçilmiş olacaktır.

REFERANSLAR

1. Harralson HH, Miller LS. Huber and Headrick's Handwriting Identification Facts and Fundamentals. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press; 2018.
2. Levinson J. Questioned Documents: A Lawyer's Handbook. London: Academic Press; 2001.
3. Aşıcıoğlu F. Adli Belge İnceleme ve Sahtecilik Alanındaki Bilirkişi Raporlarının İncelikleri . First. Istanbul: Seçkin Yayıncılık; 2019. 25–71 p.
4. Bisesi MS. Scientific Examination of Questioned Documents. CRC Press; 2006.
5. ENFSI-ENFHEX. Best Practice Manual for the Forensic Handwriting Examination. 4th ed. 2022.
6. Howard A. Harris HCL. Questioned Document Examination. In: Introduction to Forensic Science and Criminalistics. 2nd ed. New York: CRC Press; 2019. p. 143–67.
7. Williamson C. Questioned Documents. In: In Forensic Evidence Management . CRC Press; 2017. p. 135–40.
8. Koppenhaver KM. Forensic Document Examination Principles and Practice. Totowa: Humana Press; 2007.
9. Kelly JS, Lindblom BS. Scientific Examination of Questioned Documents (Forensic and

- Police Science Series). 2nd ed. Kelly JS, Lindblom BS, editors. Boca Raton: Taylor & Francis Group, LLC; 2006.
10. Hilton O. Scientific Examination of Questioned Documents. New York: CRC Press; 1993.
 11. Angel M, Caligiuri MP, Cavanaugh M. Kinematic models of subjective complexity in handwritten signatures. *J Am Soc Quest Doc Exam Inc.*. 2017;2:3–10.
 12. Ellen D, Day S, Davies C. Scientific examination of documents. 4th ed. Boca Raton: CRC Press; 2018. 201–203 p.
 13. Sita J, Found B, Rogers DK. Forensic Handwriting Examiners' Expertise for Signature Comparison. *J Forensic Sci.* 2002 Sep 1;47(5).
 14. Rashidi S, Fallah A, Towhidkhah F. Feature extraction based DCT on dynamic signature verification. *Sci Iran.* 2012 Dec;19(6).
 15. Harralson HH. Developments in Handwriting and Signature Identification in the Digital Age. London: Routledge, Taylor & Francis Group; 2015.
 16. Linden J, Marquis R, Bozza S, Taroni F. Dynamic signatures: A review of dynamic feature variation and forensic methodology. *Forensic Sci Int.* 2018 Oct;291.
 17. Geistová Čakovská B, Kalantzis N, Dziedzic T, Fernandes C, Zimmer J, Branco MJ, et al. Recommendations for capturing signatures digitally to optimize their suitability for forensic handwriting examination. *J Forensic Sci.* 2021 Mar 18;66(2).

18. Heckeroth J, Kupferschmid E, Dziedzic T, Kalantzis N, Geistová Čakovská B, Fernandes C, et al. Features of digitally captured signatures vs. pen and paper signatures: Similar or completely different? *Forensic Sci Int.* 2021 Jan;318:110587.
19. ISO/IEC 19794-7. Information technology – Biometric data interchange formats – Part 7: Signature/sign time series data. In: International Standard ISO/IEC 19794-7. second edition. 2014.
20. ISO/IEC 19794-11. Information technology — Biometric data interchange formats Part 11: Signature/sign processed dynamic data. In: International Standard ISO/IEC 19794-11. 2014.
21. Kwon O-K, An J-S, Hong S-K. Capacitive Touch Systems With Styli for Touch Sensors: A Review. *IEEE Sens J.* 2018 Jun 15;18(12):4832–46.
22. Fischetti M. At Your Fingertips . *Sci Am.* 2001 Apr;284(4):102–3.
23. Ayyildiz M, Scaraggi M, Sirin O, Basdogan C, Persson BNJ. Contact mechanics between the human finger and a touchscreen under electroadhesion. *Proc Natl Acad Sci.* 2018 Dec 11;115(50):12668–73.
24. Gray L. How Does A Touch Screen Work? . First. New York: Gareth Stevens Publishing; 2014.
25. Liu B, Hoseini Z, Lee K-S, Lee Y-M. On-Chip Touch Sensor Readout Circuit Using

- Passive Sigma-Delta Modulator Capacitance-to-Digital Converter. IEEE Sens J. 2015 Jul;15(7):3893–902.
26. Kim H-S, Han K-Y. High-SNR Capacitive Multi-Touch Sensing Technique for AMOLED Display Panels. IEEE Sens J. 2016 Feb;16(4):859–60.
 27. Jun J-H, Kim B-J, Shin S-K, Jang K, Baek J-S, Kim C. In-Cell Self-Capacitive-Type Mobile Touch System and Embedded Readout Circuit in Display Driver IC. J Disp Technol. 2016 Dec;12(12):1613–22.
 28. Texas Instruments. <https://www.ti.com/>. 2023.
 29. Schediwy RR, Faggin F. Finger/stylus touch pad. United States; 2009.
 30. Walker G. Fundamentals of Projected-Capacitive Touch Technology. . http://walkermobile.com/Touch_Technologies_Tutorial_Latest_Version.pdf. 2023.
 31. Hara H. Position detector and position pointer. United States; 2015.
 32. C. Park et al. A Pen-Pressure-Sensitive Capacitive Touch System Using Electrically Coupled Resonance Pen. IEEE J Solid-State Circuits. 2016 Jan;51(1):168–76.
 33. Lee K-H, Nam S-P, Lee J-H, Choi M, Ko H-J, Byun S-H, et al. A noise-immune stylus analog front-end using adjustable frequency modulation and linear-interpolating data reconstruction for both electrically coupled resonance and active styluses. In: 2018 IEEE International Solid - State Circuits Conference - (ISSCC). IEEE; 2018. p. 184–6.

34. Larsen AS. Transmission of pictures of moving objects. United States; 1916.
35. Fang L, Au OC, Cheung N-M. Subpixel rendering: from font rendering to image subsampling [Applications Corner]. IEEE Signal Process Mag. 2013 May;30(3):177–89.
36. Engelhardt T, Schmidt T, Kautz J, Dachsbacher C. Low-Cost Subpixel Rendering for Diverse Displays. Comput Graph Forum. 2014 Feb 10;33(1):199–209.
37. Smith AR. A Pixel Is Not A Little Square, AA Pixel Is Not A Little Square, A Pixel Is Not A Little Square! (And a Voxel is Not a Little Cube). Microsoft: http://alvyray.com/Memos/CG/Microsoft/6_pixel.pdf. 2023.
38. Tyson J. How lcds work. HowStuffWorks. <http://electronics.howstuffworks.com/lcd3.2000>.
39. Walker G. A review of technologies for sensing contact location on the surface of a display. J Soc Inf Disp. 2012 Aug 21;20(8):413–40.
40. Bhalla MR, Bhalla VA. Comparative Study of Various Touchscreen Technologies . Int J Comput Appl. 2010 Oct;6(8).
41. Henniger O, Guest R, Miguel-Hurtado O, Kaplan C. Signature/Sign Time Series Data:Standardization. In: Encyclopedia of Biometrics. Boston, MA: Springer US; 2014. p. 1–9.
42. Ferrer MA, Diaz M, Carmona-Duarte C, Morales A. A Behavioral Handwriting Model for

- Static and Dynamic Signature Synthesis. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell. 2017 Jun 1;39(6).
43. Akçeşme D, Sönmez AÇ. Sanal noter. TMMOB Elektr Mühendisleri Odası,. 2008;130–4.
44. Mazzolini D, Mignone P, Pavan P, Vessio G. An easy-to-explain decision support framework for forensic analysis of dynamic signatures. Forensic Sci Int Digit Investig. 2021 Sep;38.
45. Diaz M, Ferrer MA, Impedovo D, Malik MI, Pirlo G, Plamondon R. A Perspective Analysis of Handwritten Signature Technology. ACM Comput Surv. 2019 Feb;51(6).
46. Tolosana R, Vera-Rodriguez R, Ortega-Garcia J, Fierrez J. Preprocessing and Feature Selection for Improved Sensor Interoperability in Online Biometric Signature Verification. IEEE Access. 2015;3.
47. Parziale A, Diaz M, Ferrer MA, Marcelli A. SM-DTW: Stability Modulated Dynamic Time Warping for signature verification. Pattern Recognit Lett. 2019 Apr;121.
48. Akin A. Belgede Sahtecilik Suçlarının Konusu Olarak Elektronik/Dijital Belge. Bilişim Hukuku Derg. 2021;76–138.
49. T.C. Cumhurbaşkanlığı Mevzuat Bilgi Sistemi. 5070 ELEKTRONİK İMZA KANUNU. <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=5070&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5>. 2004.

50. Bickin İ. Elektronik İmza Kanunu ve Getirdiği Düzenlemeler. Yargıtay Derg . 2004;30(3).
51. Kürşat Nuri TURANBOY. Borçlar Hukuku Açısından Elektronik İmza. [Kırıkkale]: Kırıkkale Üniversitesi; 2007.
52. Turan TY. Resmi belge hükmündeki belgelerde sahtecilik suçu. Atatürk Üniversitesi; 2019.
53. UShouse. Electronic Signatures In Global And National Commerce. <https://www.textcontrol.com/blog/2023/06/20/electronic-signatures-2023-legal-aspects/>.
54. REGULATION (EU) No 910/2014 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL. eIDAS Regulation. <https://www.eid.as/>. 2014.
55. Tolosana R, Vera-Rodriguez R, Ortega-Garcia J, Fierrez J. Preprocessing and Feature Selection for Improved Sensor Interoperability in Online Biometric Signature Verification. IEEE Access. 2015;3:478–89.
56. Galbally J, Fierrez J, Martinez-Diaz M, Ortega-Garcia J. Evaluation of Brute-force Attack to Dynamic Signature Verification Using Synthetic Samples. In: 2009 10th International Conference on Document Analysis and Recognition. IEEE; 2009. p. 131–5.
57. Lenz J. Taking dynamic signatures seriously. Biometric Technol Today. 2011 Nov;2011(10):9–11.
58. Henniger O, Guest R, Miguel-Hurtado O, Kaplan C. Signature/Sign Time Series

Data:Standardization. In: Encyclopedia of Biometrics. Boston, MA: Springer US; 2014.

59. Guest R. Age dependency in handwritten dynamic signature verification systems. *Pattern Recognit Lett*. 2006 Jul;27(10):1098–104.
60. Sanchez-Reillo R, Quiros-Sandoval HC, Goicoechea-Telleria I, Ponce-Hernandez W. Improving Presentation Attack Detection in Dynamic Handwritten Signature Biometrics. *IEEE Access*. 2017;5:20463–9.
61. Cpałka K, Zalasinski M, Rutkowski L. New method for the on-line signature verification based on horizontal partitioning. *Pattern Recognit*. 2014 Aug;47(8).
62. Doroz R, Porwik P, Orczyk T. Dynamic signature verification method based on association of features with similarity measures. *Neurocomputing*. 2016 Jan;171:921–31.
63. Zimmer J, Kalantzis N, Dziedzic T, Heckeroth J, Kupferschmid E, Fernandes C, et al. The challenge of comparing digitally captured signatures registered with different software and hardware. *Forensic Sci Int*. 2021 Oct;327:110945.
64. Tytell P. Pen pressure as an identifying characteristic of signatures: verification from the computer. *Am Soc Quest Doc Exam*. 1998;1(1):21–31.
65. Ostrum B, Tanaka T. Another look at handwriting movement. *J Am Soc Quest Doc Exam*. 2006;9(2):57–67.
66. Allen M. *Foundations of Forensic Document Analysis*. Hoboken: Wiley Blackwell; 2016.

67. Will E. Inferring relative speed of handwriting from the static trace. *J Forensic Doc Exam.* 2012;22(1):55–63.
68. Gates FL. A Study Of The Bactericidal Action Of Ultra Violet Light. *J Gen Physiol.* 1929 Nov 20;13(2):231–48.
69. Estabrooks C. Measuring relative pen-pressure to authenticate signatures. *J Am Soc Quest Doc Exam.* 2000;3(2):57–65.
70. Eoff BD, Hammond T. Who dotted that'i'? context free user differentiation through pressure and tilt pen data. In: *Graphics Interface* . 2009. p. 149–56.
71. Impedovo D, Pirlo G. Automatic Signature Verification: The State of the Art. *IEEE Trans Syst Man, Cybern Part C (Applications Rev.* 2008 Sep;38(5):609–35.
72. Franke K. The influence of physical and biomechanical processes on the ink trace. *Methodological foundations for the forensic analysis of signatures.* University of Groningen; 2005.
73. Linden J, Marquis R, Mazzella W. Forensic Analysis of Digital Dynamic Signatures: New Methods for Data Treatment and Feature Evaluation. *J Forensic Sci.* 2017 Mar;62(2):382–91.
74. Ahmad SMS, Ling LY, Anwar RM, Faudzi MA, Shakil A. Analysis of the Effects and Relationship of Perceived Handwritten Signature's Size, Graphical Complexity, and

Legibility with Dynamic Parameters for Forged and Genuine Samples. *J Forensic Sci.* 2013 May 25;58(3):724–31.

75. Dewhurst TN, Ballantyne KN, Found B. Empirical investigation of biometric, non-visible, intra-signature features in known and simulated signatures. *Aust J Forensic Sci.* 2016 Nov 22;48(6):659–75.
76. Sesa-Nogueras E, Faundez-Zanuy M, Mekyska J. An Information Analysis of In-Air and On-Surface Trajectories in Online Handwriting. *Cognit Comput.* 2012 Jun 6;4(2):195–205.
77. Guerra-Segura E, Ortega-Pérez A, Travieso CM. In-air signature verification system using Leap Motion. *Expert Syst Appl.* 2021 Mar;165:113797.
78. Kalantzis N, Platt AWG. Digitally captured signatures: A method for the normalization of force through calibration and the use of the zeta function. *J Forensic Sci.* 2021 Mar 3;67(2):651–68.
79. Fierrez-Aguilar J., Krawczyk S., Ortega-Garcia J., ain AK. Fusion of Local and Regional Approaches for On-Line Signature Verification. In: *International Workshop on Biometric Person Authentication*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg; 2005. p. 188–96.
80. Lei H, Govindaraju V. A comparative study on the consistency of features in on-line signature verification. *Pattern Recognit Lett.* 2005 Nov;26(15):2483–9.
81. Zareen FJ, Jabin S. Authentic mobile-biometric signature verification system. *IET*

Biometrics. 2016 Mar;5(1):13–9.

82. Geistová Čakovská B, Kalantzis N, Dziedzic T, Fernandes C, Zimmer J, Branco MJ, et al. Recommendations for capturing signatures digitally to optimize their suitability for forensic handwriting examination. *J Forensic Sci.* 2021 Mar 18;66(2):743–7.
83. Nicolaides KN. Using acceleration/deceleration plots in forensic analysis of electronically captured signatures. *J Am Soc Quest Doc Exam.* 2012;15(2):29–43.
84. Mohammed L, Found B, Caligiuri M, Rogers D. Dynamic Characteristics of Signatures: Effects of Writer Style on Genuine and Simulated Signatures. *J Forensic Sci.* 2015 Jan;60(1):89–94.
85. Jackson ARW, Jackson JM. Questioned Document. In: *Forensic Science*. 4th ed. Harlow: Pearson; 2017. p. 269–93.
86. Deviterne-Lapeyre M, Ibrahim S. Interpol questioned documents review 2019–2022. *Forensic Sci Int Synerg.* 2023;6:100300.
87. Yang Y, Han X, Qin D. Dynamic feature analysis of handwritten electronic signatures based on Fourier transform. *J Forensic Sci.* 2024 Jan 27;69(1):264–72.
88. Van Gemmert AWA. Dynamic features of mimicking another person's writing and signature. In: *The effects of mental load and stress on the dynamics of fine motor tasks*. 1997. p. 155–77.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ayşegül ŞEN YILMAZ

Doğum Yeri ve Tarihi:

E-posta:

EĞİTİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans:

Boğaziçi Üniversitesi, Biyomedikal Mühendisliği, 2009 – 2012

Marmara Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Eğitim Bilimleri Anabilim Dalı, 2014 – 2015

Lisans:

Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 2003 – 2008

MESLEKİ DENEYİM

2017-Halen: Araştırma Görevlisi, İstanbul Üniversitesi–Cerrahpaşa, Adli Tıp ve Adli Bilimler Enstitüsü, Fen Bilimleri Anabilim Dalı

YETKİNLİKLER VE SERTİFİKALAR

2019 Organik ve/veya İnorganik Materyal üzerinde İleri FTIR Analiz Teknikleri, Diğer, Jandarma Kriminal Daire Başkanlığı

2019 X-IşınıKırınımı ile Mineral Yapıların Analizi Çalıştayı, Diğer, Jandarma Kriminal Daire Başkanlığı

2007 İş Planlama ve Geliştirme, Diğer, Wake Technical Community Collage

2006 Java Programlama, Bilişim, C ve Sistem ProgramlamacılarıDerneği

BİLİMSEL FAALİYETLER

SCI, SSCI ve AHCI İndekslerine Giren Dergilerde Yayınlanan Makaleler:

I.UVC-LED-based facemask design and efficacy against common germs GelirA., Aşıcioğlu F., Şen Yılmaz A., Kuşkucu M.A., Doymaz M.Z., Özdemir O.B., Saribal D., Salman Yılmaz S., Kadı Ö. F., Özdemir S., etal. Archives of Industrial Hygiene and Toxicology, cilt.74, sa.4, ss.282-287,2023(SCI-Expanded)

II. A Novel 3D Scan-Based Optical Method for Analyzing Lines Drawn at Different Pen Pressure Aşıcioğlu F., Şen Yılmaz A., De Kinder J., Pekacar I., GelirA. Forensic Science International Supplement series, cilt.1, sa.1, ss.10-25,2022(SCI-Expanded)

Diğer Dergilerde Yayınlanan Makaleler:

I. Deciphering of Latent Handwritings in a Century-Old Document Şen Yılmaz A., Genç Sütü Ö., Aşıcioğlu F. Türkiye Klinikleri Adli Tıp ve Adli Bilimler Dergisi, cilt.20, sa.2, ss.157-160,2023 (Hakemli Dergi)

II. Developing an Image Processing- Based Method to Objectively Decide the Conspicuousness of Permanent Facial Scar GelirA., Şen Yılmaz A., Aşıcioğlu F., Kadı Ö.F., Yıldırım K.B., Okudan M., Gürpınar K. IJETV, cilt.7, sa.2, ss.23-29,2022(Scopus)

III. The factors that cause the misjudgment in questioned document examination: Extraneous marks and deteriorating factors Şen Yılmaz A., Genç Sütü Ö., Aşıcioğlu F. Nowa Kodyfikacja Prawa Karnego, cilt.60, ss.153-160,2021(Hakemli Dergi)