

Padel Vuruşlarının Biyomekanik Analizi: Kinematik Prensipler ve Teknik Optimizasyon

Mevlüt Yıldız¹

Yavuz Öntürk²

Özet

Bu kitap bölümü, padel vuruşlarını biyomekanik ve kinematik ilkeler doğrultusunda inceleyerek teknik performansın bilimsel temeller üzerinden nasıl geliştirilebileceğini ortaya koymaktadır. Tenis, squash ve raketbolun bazı yapısal özelliklerini bünyesinde barındıran padel, topun duvarlardan sekerek oyunda kalabilmesi sayesinde yüksek düzeyde taktiksel ve teknik uyum gerektiren özgün bir spor dalı olarak öne çıkmaktadır. Bu durum, sporcuların yalnızca teknik becerilerini değil, aynı zamanda biyomekanik yeterliliklerini de belirleyici hâle getirmektedir. Bölümde, padel performansının değerlendirilmesinde kullanılan güncel biyomekanik analiz yöntemlerine odaklanılmaktadır. Üç boyutlu hareket analiz sistemleri, yüzeyel elektromiyografi ve ataletsel ölçüm birimleri gibi teknolojilerin sağladığı veriler, vuruş mekaniklerinin ayrıntılı biçimde çözülmesine olanak tanımaktadır. Özellikle optoelektronik sistemler aracılığıyla elde edilen yüksek çözünürlüklü kinematik veriler, karmaşık hareket örüntülerinin nesnel olarak değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır. Padel vuruşlarının temelinde yer alan kinetik zincir mekanizması, enerjinin vücut segmentleri arasında proksimalden distale doğru aktarılmasını sağlayarak raket başı hızının artmasında kritik rol oynamaktadır. Bu çerçevede forehand, backhand, servis, voley, bandeja, vibora ve smaç vuruşlarının eklem açıları, kas aktivasyon düzenleri ve raket kinematığı karşılaştırmalı olarak ele alınmaktadır. Elektromiyografi bulguları, üst ekstremitedeki kas aktivasyon dengesizliklerinin özellikle dirsek ve omuz yaralanmaları açısından risk oluşturduğunu göstermektedir. Ayrıca smaç vuruşlarında raket başı hızının üst vücut gücü, kavrama kuvveti ve omuz rotasyon kapasitesiyle yakından ilişkili olduğu ortaya konmaktadır. Teknik optimizasyon kapsamında, giyilebilir

1 Doç. Dr., Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, mevlutyildiz@mu.edu.tr, 0000-0002-1910-0330

2 Doç. Dr. Yalova Üniversitesi, yavuz.onturk@yalova.edu.tr, 0000-0001-5472-8652

teknolojiler ve akıllı kort sistemlerinin antrenman süreçlerine entegrasyonu ile modern ekipman tasarımında kullanılan kompozit malzemelerin performansa katkısı değerlendirilmektedir. Bununla birlikte, biyomekanik verilere dayalı fiziksel kondisyon programlarının performans artışı kadar yaralanma riskinin azaltılmasında da önemli bir rol oynadığı vurgulanmaktadır. Bölüm, omuz, dirsek ve alt ekstremiteye özgü biyomekanik risk faktörlerini ele alarak, antrenörler ve sporcular için kanıta dayalı ve bütüncül bir yaklaşım sunmaktadır.

GİRİŞ

Son yıllarda dünya genelinde hızla yaygınlaşan padel, tenis, squash ve raketbolun belirli özelliklerini bir araya getiren, her yaş grubundan bireyin kolaylıkla katılım sağlayabildiği dinamik bir raket sporudur. Genellikle çiftler hâlinde oynanan ve cam ile tel örgülerle çevrili, tenise kıyasla daha küçük bir kortta icra edilen bu spor dalının en ayırt edici özelliği, topun duvarlardan sekerek oyunda kalabilmesidir. Bu durum, oyunun taktiksel yapısını belirgin biçimde karmaşıktırmakta ve oyuncuların çok yönlü teknik beceriler geliştirmelerini zorunlu kılmaktadır. Padelin küresel ölçekte artan popüleritesi, spor bilimleri alanında performans geliştirme, teknik optimizasyon ve yaralanma risklerinin azaltılmasına yönelik bilimsel çalışmaların da yoğunlaşmasına neden olmuştur. Bu bağlamda spor biyomekaniği, hareketin mekanik temellerini ve hareketle ilişkili iç ve dış etkenleri inceleyerek padel performansının anlaşılmasında temel bir çerçeve sunmaktadır. Özellikle biyomekaniğin alt alanlarından biri olan kinematik, kuvvetlerden bağımsız olarak hareketin geometrik özelliklerine odaklanmakta; eklem açıları, segment hızları, hareket genliği ve raket-vücut ilişkisini nicel verilerle ortaya koymaktadır. Padel sporunun biyomekanik yapısı; sürekli yön değiştirmeler, ani hızlanma ve yavaşlamalar, sıçramalar ve forehand, backhand, servis, voley, bandeja, vibora ve smaç gibi farklı vuruş tipleriyle karakterize edilmektedir. Her bir vuruşun kendine özgü kinematik profiller ve kas aktivasyon düzenleri sergilemesi, bu hareketlerin biyomekanik prensipler doğrultusunda ayrıntılı biçimde analiz edilmesini gerekli kılmaktadır. Bu tür analizler, performansın geliştirilmesinin yanı sıra, teknik uygulamaların daha güvenli hâle getirilmesi ve sporcunun uzun vadeli sağlığının korunması açısından da önemli katkılar sunmaktadır (Escudero-Tena vd., 2021; García-Giménez vd., 2022; Martín-Miguel vd., 2020; Ramón-Llín vd., 2024; Funai vd., 2019).

Bu kitap bölümünün temel amacı, padel vuruşlarının biyomekanik analizini kinematik prensipler ışığında kapsamlı bir şekilde ele almak ve teknik optimizasyon stratejilerini bilimsel temeller üzerinden sunmaktır. Hedef kitlesi olan antrenörler, spor bilimleri akademisyenleri ve profesyonel sporcular

için hazırlanan bu bölüm, güncel bilimsel literatürden elde edilen bulgular temelinde şekillendirilmiştir. Bölümün ilk kısmında, padel biyomekaniği araştırmalarında kullanılan modern ölçüm yöntemleri ve kinematik analiz prensipleri tanıtılacaktır. İkinci kısımda, temel vuruş tiplerinin detaylı biyomekanik incelemeleri yapılacak; eklem açıları, hareket aralıkları, kas aktivasyonu, kinetik zincir, güç üretimi ve raket/top hızları gibi parametreler ele alınacaktır. Üçüncü kısımda, performans optimizasyonuna yönelik pratik stratejiler sunulacak ve son olarak yaralanma önleme konusunda biyomekanik risk faktörleri değerlendirilecektir.

1. BİYOMEKANİK ANALİZ YÖNTEMLERİ VE KİNEMATİK PRENSİPLER

1.1. Biyomekanik ve Kinematik Analizin Temelleri

Spor biyomekaniği, sporcuların hareketlerini mekanik prensipler çerçevesinde açıklamayı amaçlayan ve fiziğin, mühendisliğin yanı sıra anatomi ile fizyolojinin kesişiminde konumlanan temel bir spor bilimi disiplini. Spor bilimlerinin daha geniş alanı içerisinde merkezi bir yere sahip olan bu disiplin, yarışma ve antrenman süreçlerinde yaralanma risklerinin azaltılması ve sportif performansın artırılması amacıyla spora özgü temel hareketlerin ayrıntılı biçimde analiz edilmesini kapsamaktadır. Bu bağlamda spor biyomekaniği, insan hareketinin mekanik koşullarını inceleyerek spora özgü hareket özelliklerini ortaya koymakta ve hareket sırasında vücutta meydana gelen yapısal ve fonksiyonel değişimleri nicel verilerle değerlendirmektedir (Yeadon & Challis, 1992; Çetin, 1997; Caniberk vd., 2016).

Performansın fiziksel boyutuna odaklanan araştırmacılar, kinetik değişkenler ile fiziksel performans arasındaki ilişkiyi açıklayabilmek amacıyla biyomekanik analizlerden yararlanmaktadır. Biyomekanik analiz, optimum hareket örüntülerinin ve yüklenme modellerinin belirlenmesine olanak tanıyarak performans üzerinde doğrudan etkili olabilmekte; bir becerinin en güvenli ve en etkili şekilde nasıl gerçekleştirilebileceğini ortaya koymaktadır. Ayrıca farklı çevresel koşulların vücudun hareket ve tepki biçimleri üzerindeki etkilerinin incelenmesinde de önemli bir araştırma aracı olarak kullanılmaktadır (Thomas vd., 2022; Tozkoparan & Karaduman, 2022).

Spor biyomekaniğinin temel bileşenlerinden biri olan kinematik analiz, hareketi oluşturan kuvvetlerden bağımsız olarak hareketin uzay ve zaman içerisindeki özelliklerine odaklanmakta ve “hareketin nasıl gerçekleştiği” sorusuna yanıt aramaktadır. Bu yaklaşım kapsamında bir cismin ya da vücut segmentlerinin yer değiştirmesi, hızı ve ivmesi nicel olarak tanımlanarak sportif hareketlerin yapısal özellikleri ayrıntılı biçimde analiz edilmektedir (Huston,

2013; McGinnis, 2021). Kinematik analiz genel olarak doğrusal kinematik ve açısal kinematik olmak üzere iki temel başlık altında ele alınmaktadır. Doğrusal kinematik, bir noktanın ya da vücut kütle merkezinin düzlemsel hareketini incelerken; açısal kinematik, bir cismin veya vücut segmentlerinin belirli bir eksen etrafındaki dönme hareketlerine odaklanmaktadır. Padel gibi yüksek hızda gerçekleşen, ani yön değişimleri ve çok yönlü vuruşlar içeren sporlarda bu iki hareket türü eş zamanlı ve koordineli biçimde ortaya çıkmakta; doğrusal ve açısal bileşenlerin etkili bir şekilde bütünleştirilmesi vuruş verimliliğinin artırılmasında, hareket ekonomisinin sağlanmasında ve performansın sürdürülebilirliğinde belirleyici bir rol oynamaktadır (McGinnis, 2021; Martín-Miguel vd., 2020).

1.2. Üç Boyutlu Hareket Analizi Sistemleri

Sporla hareket analizi, sağlıkla ilişkili parametrelerin ölçülmesi yoluyla performansın geliştirilmesi ve sağlığın korunmasını amaçlayan motor becerilerin değerlendirilmesinde etkin biçimde kullanılan yöntemler arasında yer almaktadır. Hareket analizinin temel hedefi, normal hareket örüntülerini bireysel farklılıklardan bağımsız olarak sayısal verilerle tanımlayabilmek ve normalden sapma gösteren hareketleri, bu sapmaların altında yatan nedenler ya da işlevsel uyum süreçleriyle ilişkilendirebilmektir (Dönmez vd., 2014). Bu özellikleriyle hareket analizi, yalnızca performans odaklı değerlendirmelerde değil, aynı zamanda yaralanma önleme ve rehabilitasyon süreçlerinde de önemli bir bilimsel araç olarak değerlendirilmektedir (Winter, 2009). Modern spor biyomekaniği araştırmalarında en yaygın kullanılan teknolojilerden biri üç boyutlu (3B) hareket analizi sistemleridir. Bu sistemler genellikle optoelektronik teknolojiye dayalı olarak çalışmakta ve sporcunun vücuduna ve ekipmanına (örneğin raket) stratejik biçimde yerleştirilen yansıtıcı işaretleyicilerin uzaydaki konumlarını yüksek hızlı kızılötesi kameralar aracılığıyla kaydetmektedir (Martín-Miguel vd., 2020). Birden fazla kameradan elde edilen iki boyutlu görüntüler, gelişmiş kalibrasyon algoritmaları ve triangülasyon prensipleri kullanılarak üç boyutlu koordinatlara dönüştürülmektedir. Bu işlem genellikle saniyede 200–500 kare hızında ve milimetrik hassasiyetle gerçekleştirilmekte, böylece hızlı ve karmaşık sportif hareketlerin en ince ayrıntıları güvenilir biçimde analiz edilebilmektedir (McGinnis, 2021). Toplanan ham konum verilerinden eklem merkezlerinin, segment açılarının ve vücut kütle merkezinin hareketlerinin hesaplanmasında biyomedikal modelleme yazılımlarından yararlanılmaktadır. Bu yazılımlar, insan vücudunu eklemlerle birbirine bağlanmış rijit segmentlerden oluşan bir sistem olarak ele almakta ve her bir eklemin açısal konumu, açısal hızı ve ivmesini zaman boyutunda hesaplamaktadır. Örneğin bir smaç vuruşu sırasında omuz ekleminde meydana gelen fleksiyon–ekstansiyon, abdüksiyon–addüksiyon ve

iç–dış rotasyon hareketlerinin zamana bağlı değişimi bu yöntemler aracılığıyla ayrıntılı biçimde ortaya konabilmektedir (Gianikellis & Skiadopoulos, 2016). Bu düzeyde gerçekleştirilen ayrıntılı kinematik analizler, elit sporcuların optimal hareket paternlerinin belirlenmesinde ve geliştirmekte olan sporcuların teknik uygulamalarının bilimsel referans modellerle karşılaştırılmasında kritik bir rol oynamaktadır (Winter, 2009; McGinnis, 2021).

1.3. Yüzeyel Elektromiyografi (sEMG)

Kinematik veriler, hareketin mekânsal ve zamansal özelliklerini ayrıntılı biçimde ortaya koymakla birlikte, hangi kasların ne zaman ve ne düzeyde aktive olduğunu doğrudan göstermemektedir. Bu nedenle biyomekanik analizlerin tamamlayıcı bir biçimde ele alınabilmesi için yüzeyel elektromiyografi (sEMG) gibi nörofizyolojik ölçüm tekniklerinin sürece entegre edilmesi gerekmektedir. sEMG, kas kasılması sırasında oluşan motor ünite aksiyon potansiyellerini, cilt yüzeyine yerleştirilen yapışkan elektrotlar aracılığıyla non-invazif olarak kaydederek kas aktivitesine ilişkin ayrıntılı bilgiler sunmaktadır (Martín-Miguel vd., 2020; Morotta vd., 2025). Elde edilen sinyaller, kasların aktivasyon zamanlaması, aktivasyon düzeyi, kaslar arası koordinasyon ve yorgunluk belirtileri gibi önemli parametrelerin değerlendirilmesine olanak tanımaktadır. Padel sporuna özgü sEMG çalışmalarında, farklı vuruş tiplerine bağlı olarak üst ekstremité kaslarının karakteristik aktivasyon profilleri ortaya konmuştur. Forehand ve backhand vuruşları sırasında omuz çevresi kaslardan deltoid, pektoralis major, latissimus dorsi ve trapezius; kol kaslarından biceps ve triceps brachii; ön kol kaslarından ise fleksör karpi radialis ve ekstansör karpi radialis kaslarının aktivasyon düzeyleri sıklıkla incelenmektedir. Bu çalışmalardan elde edilen bulgular, ekstansör kas gruplarının fleksör kaslara kıyasla anlamlı derecede daha yüksek aktivasyon sergilediğini göstermiş ve bu durum lateral epikondilit (tenisçi dirseği) gibi aşırı kullanım kaynaklı yaralanmalar açısından önemli bir risk faktörü olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca backhand vuruşları sırasında deltoid kasının baskın aktivasyon göstermesi ve bu aktivitenin antagonist kaslar tarafından yeterince dengelenmemesi, omuz ekleminde biyomekanik dengesizliklere ve buna bağlı potansiyel yaralanma risklerine işaret etmektedir (Demeco vd., 2023).

1.4. Ataletsel Ölçüm Birimleri ve Saha Uygulamaları

Laboratuvar ortamlarında gerçekleştirilen biyomekanik ölçümler yüksek hassasiyet sunsa da, gerçek oyun koşullarının dinamik ve değişken yapısını her zaman tam olarak yansıtamayabilmektedir. Bu sınırlılığı aşmak amacıyla son yıllarda ataletsel ölçüm birimleri (IMU – Inertial Measurement Units), saha temelli spor biyomekaniği uygulamalarında giderek daha yaygın biçimde

kullanılmaktadır (Morotta vd., 2025). İvmeölçerler, jiroskoplar ve bazı uygulamalarda manyetometreler içeren bu küçük ve giyilebilir sensörler; vücudun farklı segmentlerine ya da doğrudan spor ekipmanına yerleştirilerek segmentlerin üç boyutlu oryantasyonunu, açısal hızını ve doğrusal ivmesini gerçek zamanlı olarak kaydedebilmektedir. IMU sistemlerinin en önemli avantajı, antrenman ve müsabaka sırasında saha koşullarında veri toplanmasına olanak tanınmasıdır. Bu sayede rakip baskısı, yorgunluk ve psikolojik stres gibi laboratuvar ortamında tam olarak kontrol edilemeyen faktörlerin biyomekanik parametreler üzerindeki etkileri doğrudan incelenebilmektedir. Ayrıca IMU'ların yüzeyel elektromiyografi (sEMG) sistemleriyle birlikte kullanılması, sporcunun kinematik özellikleri ile kas aktivitesinin eş zamanlı olarak değerlendirilmesini mümkün kılarak performansın daha bütüncül bir bakış açısıyla analiz edilmesine olanak tanımaktadır. Bu teknoloji, antrenörler ve spor bilimciler için gerçek zamanlı performans izleme, yorgunluk düzeylerinin belirlenmesi ve antrenman yükünün optimize edilmesi açısından önemli bir uygulama alanı sunmaktadır (Picerno, 2017; Morotta vd., 2025).

1.5. Kinetik Zincir Kavramı

Kinetik zincir kavramı, raket sporlarında güç üretimi ve enerjinin vücut segmentleri arasında aktarımını açıklayan temel biyomekanik yaklaşımlardan biridir. Bu kavram, vücudu birbirine bağlı fonksiyonel segmentlerden oluşan bir sistem olarak ele almakta ve hareket sırasında enerjinin proksimal segmentlerden distal segmentlere doğru sıralı ve koordine bir biçimde aktarılmasını tanımlamaktadır. Padel gibi raket sporlarında etkili bir vuruş, yerle temas eden ayaklardan başlamakta; yer reaksiyon kuvvetleri aracılığıyla üretilen güç sırasıyla alt ekstremiteler, kalça ve gövde rotasyonu üzerinden üst ekstremitelere iletilerek raket başına aktarılmaktadır. Bu süreçte her bir segment, kendisinden önceki segmentin ürettiği hız ve momentumu devralarak hareketi hızlandırmakta ve zincirin son halkasında maksimum raket başı hızının elde edilmesine katkı sağlamaktadır (Babolat, 2025). Kinetik zincirin doğru zamanlama ve senkronizasyonla çalışması, minimum enerji harcamasıyla yüksek performans çıktısı elde edilmesini mümkün kılarak, aynı zamanda eklemler üzerindeki mekanik yükün dengeli biçimde dağıtılmasına da katkı sağlamaktadır. Buna karşılık zincirin herhangi bir halkasında kuvvet üretiminin yetersiz olması, hareket açıklığının kısıtlanması ya da segmentler arası zamanlamanın bozulması durumunda enerji transferi kesintiye uğramakta ve distal segmentler eksik gücü telafi etmek amacıyla aşırı yüklenmektedir. Özellikle omuz, dirsek ve el bileğinde görülen tekrarlayıcı stres yaralanmalarının önemli bir bölümü, kinetik zincirdeki bu fonksiyonel bozulmalarla ilişkilendirilmektedir (Kibler et al., 2006; Martin, 2018).

1.6. Eklem Açıları ve Hareket Aralıkları

Eklem açıları ve hareket aralıkları (Range of Motion – ROM), kinematik analizin temel değişkenleri arasında yer almakta ve bir sporcunun teknik kalitesinin değerlendirilmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Padelde gerçekleştirilen her vuruş tipi, belirli eklemlerde karakteristik açısal değişimler ve kendine özgü hareket paternleri sergilemektedir. Örneğin smaç vuruşunun hazırlık fazında omuz eklemine geniş bir abduksiyon açısına (yaklaşık 90–110°) ve yüksek düzeyde dış rotasyona (yaklaşık 150–180°) ulaşması gerekmektedir. Bu pozisyon, omuzun iç rotator kas gruplarında elastik enerjinin depolanmasına olanak tanımakta ve ivmelenme fazında bu enerjinin patlayıcı bir biçimde açığa çıkmasını desteklemektedir (Martín-Miguel vd., 2020).

Eklem açlarına ilişkin ölçüm ve analizler, elit sporcuların optimal hareket paternlerinin tanımlanmasında kullanılarak referans modellerin oluşturulmasına katkı sağlamaktadır. Gelişim aşamasındaki sporcuların vuruş teknikleri bu modellerle karşılaştırıldığında, hareketin verimsiz olduğu ya da potansiyel yaralanma riski taşıyan noktalar daha net biçimde ortaya konabilmektedir. Örneğin hazırlık fazında diz eklemine yeterli fleksiyonun sağlanmaması, alt ekstremitelerden üretilecek kuvveti sınırlandırmakta ve kinetik zincirin başlangıcını zayıflatmaktadır (North Padel Club, 2024). Benzer şekilde smaç vuruşu sırasında omuz eklemine yetersiz dış rotasyon, vuruş gücünü azaltırken; aşırı dış rotasyon ise omuz eklemine anterior stabilizatör yapıları üzerinde aşırı yüklenmeye yol açarak yaralanma riskini artırabilmektedir (Demeco vd., 2023).

1.7. Vücut Kütle Merkezi ve Raket Kinematığı

Vücut kütle merkezi (Center of Mass – COM), vücudun ortalama konumunu temsil eden ve toplam vücut kütlesinin yoğunlaştığı varsayılan bir referans noktasıdır. Kütle merkezinin hareketi, sporcunun denge kontrolü, postüral stabilitesi ve hareket verimliliği hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Padel vuruşları sırasında kütle merkezinin hem dikey hem de yatay düzlemdeki yer değiştirmeleri, güç üretimi ve denge stratejilerinin etkinliği açısından kritik bir rol oynamaktadır (North Padel Club, 2024). Etkili bir vuruş tekniğinde, sporcunun hazırlık fazında diz fleksiyonu yoluyla kütle merkezini alçalttığı ve vuruş anında yukarı doğru ivmelendirerek yer reaksiyon kuvvetlerinden maksimum düzeyde yararlandığı gözlemlenmektedir.

Raket kinematığı ise raketin hareket özelliklerini ifade etmekte ve vuruşun sonucunu doğrudan etkileyen temel parametreler arasında yer almaktadır. Raket başı hızı (racket head velocity), topun çıkış hızının en önemli belirleyicilerinden biri olup, çarpışma mekaniği gereği raket hızındaki artış topa aktarılan

momentumun da artmasına neden olmaktadır (Tennis Warehouse University, 2023). Bunun yanı sıra raketin izlediği yörünge ile vuruş anındaki yüzey açısı, topun yönünü, falso miktarını ve kontrol düzeyini belirleyen kritik değişkenlerdir. Padel sporuna özgü olarak duvar kullanımının oyuna dâhil edilmesi, raket kinematığını daha karmaşık hâle getirmekte; topun duvardan sekme açısı, hızı ve falsosu, sporcunun bir sonraki vuruşa hazırlanırken pozisyonunu, zamanlamasını ve raket hareketini anlık olarak uyarlamasını zorunlu kılmaktadır (Gea Garcia vd., 2021).

2. TEMEL VURUŞLARIN BİYOMEKANİK ANALİZİ

Padel, taktiksel çeşitlilik sunan ve birbirinden farklı biyomekanik özellikler sergileyen çok sayıda vuruş tipini bünyesinde barındıran bir raket sporudur. Bu vuruşların etkinliği; kinetik zincirin doğru kullanımı, optimal eklem kinematığı, kas aktivasyonunun zamanlama ve koordinasyonu ile sonuçta üretilen raket ve top hızının bütüncül bir etkileşimine dayanmaktadır. Bu bölümde, padelin temel vuruşları olan forehand, backhand, servis, voley, bandeja, vibora ve smaç, biyomekanik prensipler doğrultusunda ayrıntılı bir bakış açısıyla ele alınacaktır.

2.1. Forehand Vuruşu

Forehand, padelde en sık kullanılan ve çoğu oyuncu için en güçlü zemin vuruşlarından biri olarak kabul edilmektedir. Oyuncuların genellikle “doğal” tarafı olması nedeniyle forehand vuruşunda daha yüksek güç üretimi ve top kontrolü sağlanabilmektedir. Biyomekanik açıdan forehand vuruşu; hazırlık, geriye salınım (backswing), ivmelenme, temas ve takip etme (follow-through) olmak üzere ardışık fazlardan oluşmaktadır. Hazırlık fazında oyuncu, topu erken algılayarak yan duruş pozisyonuna geçer. Bu aşamada vücut ağırlığı arka ayağa aktarılırken, gövde vuruş yönünün tersine doğru rotasyona girer. Raketin geriye alınmasıyla birlikte omuz eklemi yatay abdüksiyon ve dış rotasyon pozisyonuna ulaşır. Bu hareket dizilimi, pektoralis major, latissimus dorsi ve ön deltoid kaslarında ekzantrik yüklenme oluşturarak elastik enerjinin depolanmasına olanak tanır. İvmelenme fazı, vuruş gücünün üretildiği en kritik aşamadır ve kinetik zincirin etkin kullanımına dayanmaktadır. Hareket, arka ayağın yerle etkileşimiyle başlayan kuvvet üretimi ve vücut ağırlığının ön ayağa transferiyle başlar. Kalçanın öne doğru hızlı rotasyonu gövdeyi peşinden sürüklerken, bu süreçte abdominal ve paraspinal kas grupları yüksek düzeyde aktive olur. Gövdede oluşan rotasyonel momentum omuz eklemine aktarılır; omuz iç rotasyona girerken dirsek eklemi hızla ekstansiyona yönelir ve ön kol pronasyona geçer. Bu sıralı hızlanma süreci, enerjinin raket başında yoğunlaşmasını sağlayarak vuruş hızını maksimize eder. Kinematik analizler, forehand vuruşu sırasında erkek sporcuların kadın sporculara kıyasla daha

yüksek skapular tilt sergilediğini ve bunun gövde ile omuz rotasyonunun daha geniş bir hareket aralığında kullanılmasına olanak tanıdığını göstermektedir. Bu durum, daha yüksek güç üretme potansiyeliyle ilişkilendirilmektedir. Ayrıca yüzeysel elektromiyografi bulguları, forehand vuruşu sırasında deltoid kasının anlamlı düzeyde aktive olduğunu ortaya koymaktadır. Raket-top teması, ivmelenme fazının sonunda ve raket başı hızının en yüksek seviyeye ulaştığı anda gerçekleşir. Temas sonrasında raketin öne ve yukarı doğru devam ettiği takip etme fazı, eklemlerin ani biçimde durmasını engelleyerek oluşan deselerasyon kuvvetlerinin kontrollü şekilde dağıtılmasını sağlar. Bu fazın doğru uygulanması, özellikle omuz ve dirsek eklemlerinde aşırı yüklenmenin önlenmesi açısından önemli bir koruyucu rol üstlenmektedir. Temas ve Takip Etme Fazı, Raket-top teması, ivmelenme fazının sonunda ve raket başı hızının en yüksek seviyeye ulaştığı anda gerçekleşmektedir. Temasın ardından raketin öne ve yukarı doğru devam eden takip etme hareketi (follow-through), eklemlerin ani biçimde durmasını engelleyerek oluşan deselerasyon kuvvetlerinin kontrollü ve güvenli bir şekilde dağıtılmasını sağlar. Takip etme fazının doğru ve yeterli şekilde uygulanması, özellikle omuz ve dirsek eklemlerinde aşırı yüklenmenin azaltılmasında ve buna bağlı yaralanmaların önlenmesinde önemli bir koruyucu rol üstlenmektedir (Demeco vd., 2023).

2.2. Backhand Vuruşu

Backhand vuruşu, padelde vücudun raket tutulan elin karşı tarafında gerçekleştirilen temel zemin vuruşlarından biridir ve tek eli ya da çift eli olarak uygulanabilmektedir. Her iki vuruş tekniği de farklı biyomekanik özellikler sergilemekle birlikte, rekreasyonel ve profesyonel padel oyuncuları arasında çift eli backhand vuruşunun daha yaygın olduğu görülmektedir. Bunun temel nedeni, çift eli uygulamanın daha yüksek stabilite sağlaması ve güç üretimini desteklemesidir. Tek eli backhand vuruşu, daha geniş bir hareket açıklığına ve belirgin gövde rotasyonuna ihtiyaç duyar. Bu vuruş sırasında omuz eklemi yatay addüksiyon ve iç rotasyon hareketleri sergilerken, hazırlık fazında dış rotasyon pozisyonunda bulunan omuz eklemi ivmelenme fazında hızlı bir biçimde iç rotasyona geçmektedir. Bu geçiş sürecinde posterior rotator manşet kasları, humerus başının eklem içinde kontrolünü sağlamak amacıyla belirgin bir eksantrik yüklenmeye maruz kalmaktadır. Çift eli backhand vuruşunda ise baskın olmayan el, raketi destekleyerek vuruşa aktif katkı sağlamakta ve böylece stabilite ile kontrol düzeyi artmaktadır. Bu teknikte alt ekstremitte ve gövde rotasyonu daha belirgin biçimde kullanılmakta, kuvvet üretimi yalnızca üst ekstremitteye bağımlı olmaktan çıkmaktadır. Her iki kolun vuruşa katılması, omuz eklemi üzerindeki mekanik yükün daha dengeli biçimde dağılmasına katkı sağlamaktadır. Biyomekanik ve elektromiyografik analizler, backhand

vuruşlarında kas aktivasyonu açısından potansiyel dengesizliklere işaret etmektedir. Yüzeysel elektromiyografi bulguları, deltoid kası aktivasyonunun trapezius kasına kıyasla belirgin biçimde daha baskın olduğunu (20 ± 12) ortaya koymuştur. Daha önemlisi, bu yüksek deltoid aktivasyonunun, humerus başının glenoid içerisinde optimal merkezlenmesini sağlaması gereken latissimus dorsi ve pektoralis major gibi antagonist kaslar tarafından yeterince dengelenmediği belirlenmiştir. Bu kas dengesizliği, özellikle tekrarlayıcı backhand vuruşları sırasında omuz ağrısı ve subakromiyal sıkışma sendromu gibi yaralanmalar için önemli bir risk faktörü olarak değerlendirilmektedir (Demeco vd., 2023). Ön kol kaslarının aktivasyon profiline bakıldığında ise hem forehand hem de backhand vuruşlarında ekstansör karpi radialis (ECR) kasının, fleksör karpi radialis (FCR) kasına kıyasla anlamlı derecede daha yüksek aktivasyon sergilediği görülmektedir. ECR kasının bu baskın aktivitesi, el bileği stabilitesinin sağlanması ve raket pozisyonunun kontrolü açısından işlevsel olmakla birlikte, uzun süreli ve tekrarlayıcı yüklenmelerde lateral epikondilit (tenisçi dirseği) gelişimi açısından önemli bir risk faktörü oluşturmaktadır (Forsström, 2022).

2.3. Servis

Padel servisi, tenisten farklı olarak alt el servisi (underhand serve) şeklinde uygulanmakta; top havaya atılıp baş üstünden vurulmak yerine, zemine bir kez sektirildikten sonra bel hizasının altından karşılanmaktadır. Bu kural farklılığı, servisin biyomekanik yapısını temelden değiştirerek vuruşu yüksek güç üretiminden çok kontrol, hassasiyet ve yerleştirme odaklı bir teknik hâline getirmektedir. Biyomekanik açıdan padel servisi, literatürde “kaşık tekniği” (spoon technique) olarak tanımlanan bir hareket modeliyle gerçekleştirilmektedir. Oyuncu yan duruş pozisyonunda topu serbest bırakarak sektirir ve topun yukarı doğru yükselişi sırasında vuruşu uygular. Hareket, vücut ağırlığının arka ayaktan ön ayağa transferiyle başlamakta; bu ağırlık aktarımı kalça ve gövde rotasyonu için gerekli momentumu oluşturarak omuzun vuruş yönüne doğru ilerlemesini tetiklemektedir. Servis sırasında kinetik zincir aktif biçimde kullanılmakla birlikte, bu zincirin temel işlevi maksimum hız üretmekten ziyade hareketin stabilitesini sağlamak ve topa istenilen yön ile etkiyi kazandırmaktır. Alt ekstremiteler ve gövde zincirin ana itici unsurları olarak görev yaparken, kolun daha kompakt ve kontrollü hareketi servisin doğruluğunu belirlemektedir. Ayrıca servis sonrasında oyuncunun hızla file önüne yönelerek ofansif pozisyon alması hedeflendiğinden, padel servisi yalnızca teknik bir vuruş değil, aynı zamanda rallinin taktiksel çerçevesini belirleyen stratejik bir başlangıç hareketi olarak değerlendirilmektedir (Martin, 2018; Babolat, 2025).

2.4. Voley Vuruşları

Voley vuruşları, topun zemine temas etmeden önce havada karşılandığı ve genellikle file önünde gerçekleştirilen hızlı reaksiyon gerektiren tekniklerdir. Padelde ofansif oyun anlayışının temel bileşenlerinden biri olan voleyler, file bölgesinde üstünlük kurmayı mümkün kılmakta ve yüksek düzey rekabet için kritik bir rol üstlenmektedir. Zemin vuruşlarına kıyasla çok daha kısa bir hazırlık süresine sahip olan voley vuruşları, geniş salınımlardan ziyade kompakt ve kontrollü bir hareket yapısı gerektirmektedir. Forehand voley sırasında omuz ve kol segmentleri kinetik zincirde daha baskın bir rol oynamaktadır; çünkü vuruşun yüksek hızı ve sınırlı zaman aralığı, geniş gövde rotasyonunun etkin kullanımını kısıtlamaktadır. Kinematik analizler, erkek sporcuların forehand voley esnasında kadın sporculara kıyasla daha yüksek omuz dış rotasyonu sergilediğini ortaya koymuştur. Bu daha geniş rotasyon aralığı, raket başına ani hız kazandırılmasını kolaylaştırarak vuruşun etkinliğini artırmaktadır (Demeco vd., 2023). Backhand voley ise özellikle omuz eklemi stabilizatör kasları açısından daha zorlayıcı bir vuruş olarak değerlendirilmektedir. Yüzeyel elektromiyografi bulguları, backhand voley sırasında deltoid, trapezius ve pektoralis major kaslarının belirgin şekilde aktive olduğunu göstermektedir (Demeco vd., 2023). Voley vuruşlarında el bileği stabilitesi kritik öneme sahiptir; zira raket yüzeyinin açısının korunması, topun kontrolsüz biçimde yükselmesini veya fileye takılmasını önlemektedir. Bu stabilite, ön kol kasları olan ekstansör karpi radialis (ECR) ve fleksör karpi radialis (FCR) kaslarının eş zamanlı kasılmasıyla sağlanmakta ve vuruş kontrolünün sürdürülebilirliğine katkı sunmaktadır (Forsström, 2022).

2.5. Bandeja

Bandeja (İspanyolca “tepsi”), padel sporuna özgü bir baş üstü vuruş olup genellikle rakibin defansif lob vuruşunu nötralize etmek veya oyunda ofansif bir üstünlük kurmak amacıyla kullanılmaktadır. Smaç vuruşundan farklı olarak bandeja, maksimum güç üretiminden ziyade kontrol, süreklilik ve stratejik yerleştirme odaklı bir vuruş niteliği taşımaktadır. Bu vuruşun temel amacı, topun arka duvarlara temas ettikten sonra alçak ve kontrollü zor bir sekme oluşturmalarını sağlayarak rakibin hücum girişimlerini sınırlandırmaktır. Teknik ve biyomekanik açıdan bandeja sırasında oyuncu yan duruş pozisyonu almakta ve raketi, adını aldığı “tepsi” pozisyonuna benzer şekilde, raket başı yukarı bakacak biçimde tutmaktadır. Vuruş genellikle topun yanında ya da hafifçe arkasında ve omuz hizasında gerçekleştirilmekte; hareket daha çok kesme (slice) karakteri taşımaktadır. Raketin aşağı ve öne doğru izlediği yol, topa arka falso kazandırarak kontrolü artırmaktadır. Bu teknik uygulama, omuz eklemine belirgin abdüksiyon ve elevasyon hareketlerini

gerektirmekte, vuruşun başarısı büyük ölçüde omuz koordinasyonuna bağlı olmaktadır. Yüzeyel elektromiyografi bulguları, bandeja vuruşu sırasında trapezius kası aktivasyonunun (11 ± 3) diğer baş üstü vuruşlara kıyasla daha düşük düzeyde seyrettiğini, buna karşın deltoid kasının yaklaşık 23 ± 11 oranında aktif olduğunu göstermektedir. Bandeja vuruşunun tekrarlayıcı biçimde uygulanması, omuz ekleminde subakromiyal boşluğun daralmasına neden olarak sıkışma sendromu riskini artırabilmektedir. Bu nedenle bandeja tekniğinin doğru uygulanması, yeterli omuz mobilitesinin sağlanması ve stabilizatör kas gruplarının dengeli biçimde güçlendirilmesi, yaralanma riskinin azaltılması açısından kritik önem taşımaktadır (Demeco vd., 2023).

2.6. Vibora

Víbora (İspanyolca “engerek yılanı”), padelde bandejaya kıyasla daha agresif bir baş üstü vuruş olup topa belirgin düzeyde yan falso (sidespin) kazandırmak amacıyla uygulanmaktadır. Teknik açıdan vibora, smaç ile bandeja arasında konumlanan hibrit bir vuruş niteliği taşımaktadır. Oyuncu vuruş sırasında topun daha altına girerek raketi aşağıdan yukarıya doğru yönlendirmekte; dirsek ve ön kolun aktif katılımıyla gerçekleştirilen “kırbaç benzeri” bir hareket sayesinde raket, topa adeta fırça atarcasına temas etmektedir. Bu temas şekli, topun hem hız hem de falso açısından etkili bir biçimde yönlendirilmesini sağlamaktadır. Biyomekanik açıdan vibora, bandeja vuruşuna kıyasla daha yüksek düzeyde omuz iç rotasyonu ve ön kol pronasyonu içermekte olup, üç boyutlu ve karmaşık bir hareket yapısına sahiptir. Bu vuruşun başarılı şekilde uygulanabilmesi, eklemler arası hassas koordinasyonun yanı sıra gelişmiş nöromüsküler kontrol gerektirmektedir. Vuruş sonrasında topun duvardan beklenmedik bir açıyla ve alçak bir sekmeye geri dönmesi, rakibi savunma pozisyonuna zorlayarak önemli bir taktik avantaj sağlamaktadır. Bununla birlikte vibora vuruşunun yüksek teknik gereksinimi ve omuz ile dirsek eklemleri üzerinde oluşturduğu karmaşık stres paternleri, bu vuruşun yalnızca ileri düzey oyuncular tarafından güvenli ve etkili biçimde uygulanabileceğini göstermektedir.

2.7. Smaç (Smash)

Smaç, padelde en güçlü, en spektaküler ve çoğu zaman puanı doğrudan sonlandıran ofansif vuruş olarak kabul edilmektedir. Bu vuruşun temel amacı, topa maksimum hız ve güç kazandırarak rakibin etkili bir karşılık vermesini engellemektir. Biyomekanik açıdan smaç, kinetik zincirin en patlayıcı ve en eksiksiz biçimde kullanıldığı vuruş türü olarak öne çıkmaktadır. Hazırlık fazında oyuncu, topun altına doğru uygun pozisyon alarak vücudunu adeta bir yay gibi kurar. Dizler bükülür, kalçalar hafifçe geriye alınır ve vücut ağırlığı arka

ayağa aktarılır. Bu esnada omuzlar geriye doğru rotasyona girerken raket başın arkasına ya da sırt hizasına düşer. Bu pozisyon, omuz eklemine yüksek düzeyde dış rotasyon (yaklaşık 150–180°) oluşturur ve pektoralis major, latissimus dorsi, subskapularis ile diğer omuz iç rotator kas gruplarında belirgin bir gerilme yaratarak elastik enerjinin depolanmasına olanak tanır (Martin, 2018).

İvmelenme fazı, smaç vuruşunda güç üretiminin merkezini oluşturmaktadır. Hareket, alt ekstremitelerin patlayıcı dikey itmesiyle başlar; ayak bileğinde plantar fleksiyon ve diz eklemine ekstansiyon meydana gelir. Bu itici kuvvet, vücut kütle merkezinin yukarı doğru hızlanmasını sağlayarak yer reaksiyon kuvvetlerinden maksimum düzeyde faydalanılmasına olanak tanır. Ardından kalça ve gövdenin hızlı rotasyonu devreye girerek üretilen enerjiyi üst ekstremitelere aktarır. Omuz eklemi, dış rotasyondan hızla iç rotasyona geçerken subskapularis, pektoralis major, latissimus dorsi ve teres major kasları yüksek düzeyde konsantrik kasılma sergiler. Bu sırada dirsek eklemi hızla ekstansiyona girer ve ön kol pronasyon hareketi yapar. Bu sıralı hızlanma zinciri, enerjinin raket başında yoğunlaşmasını sağlayarak maksimum raket başı hızının üretilmesine katkıda bulunur. Raket başı hızı, smaç vuruşunun etkinliğini belirleyen en kritik parametrelerden biri olup topun çıkış hızını doğrudan etkilemektedir. Araştırmalar, raket başı hızının üst vücut fonksiyonel gücü (örneğin sağlık topu fırlatma performansı), el kavrama kuvveti ve omuz rotasyon gücü ile güçlü pozitif ilişkiler gösterdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca cinsiyete ve performans düzeyine bağlı olarak belirgin farklılıklar gözlenmekte; erkek oyuncular, daha yüksek üst vücut güç kapasiteleri sayesinde kadın oyunculara kıyasla anlamlı derecede daha yüksek smaç hızları üretebilmektedir. Benzer şekilde yarı profesyonel oyuncuların smaç hızlarının amatör sporculara göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Smaç vuruşu, kazanılan puanların önemli bir bölümünü oluşturmakta ve bu vuruşta ustalaşmak, bir oyuncunun genel performans düzeyini belirleyen temel göstergeler arasında yer almaktadır (Sánchez-Alcaraz vd., 2025; Martin vd., 2023). Raket-top temasının ardından başlayan deselerasyon ve takip etme fazı, vuruşun güvenli biçimde tamamlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu fazda raketin hızla yavaşlatılması, başta infraspinatus, teres minor ve posterior deltoid olmak üzere omuzun posterior kas gruplarının eksantrik kasılmasıyla sağlanmaktadır. Uygun bir takip etme (follow-through) hareketi, oluşan deselerasyon kuvvetlerinin kontrollü biçimde dağıtılmasına yardımcı olarak omuz eklemi üzerindeki aşırı yüklenmeyi azaltmakta ve yaralanma riskinin düşürülmesinde koruyucu bir rol üstlenmektedir.

3. TEKNİK OPTİMİZASYON STRATEJİLERİ

Padelde zirve performansa ulaşmak, yalnızca doğuştan gelen yeteneklere değil; aynı zamanda bilimsel temellere dayalı antrenman metodolojilerinin uygulanmasına, teknolojik araçların etkin kullanımına, doğru ekipman seçimine ve kapsamlı bir fiziksel kondisyon sürecine bağlıdır. Teknik optimizasyon süreci, sporcunun biyomekanik verimliliğini artırmayı, yaralanma risklerini en aza indirmeyi ve performansın sürekliliğini sağlamayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda söz konusu bölümde, padel performansının geliştirilmesine yönelik kanıta dayalı ve güncel stratejiler bütüncül bir bakış açısıyla ele alınacaktır.

3.1. Teknik-Taktik Gelişim ve Antrenman Metodolojileri

Teknik optimizasyonun temelini, antrenman ortamının maç koşullarını mümkün olduğunca gerçekçi biçimde yansıtmayı oluşturmaktadır. Spor bilimlerinde yaygın kabul gören “oynadığın gibi antrenman yap” (train as you play) prensibi, antrenman içeriğinin müsabaka talepleriyle uyumlu olmasını esas alan pedagojik bir yaklaşımı ifade etmektedir. Bu prensip, sporcuların baskı altında karar verme, hata ile başa çıkma ve doğru vuruş seçimini sürdürülebilir biçimde uygulayabilme becerilerinin geliştirilmesi açısından kritik önem taşımaktadır. Yüksek performans düzeyindeki sporcular üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar, baskı koşulları altında uygulanan antrenmanların, resmi müsabakalarda sergilenen teknik ve taktik davranışlarla yüksek düzeyde benzerlik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, ekolojik geçerliliği yüksek ve gerçekçi antrenman senaryolarının beceri transferi üzerindeki etkisini açık biçimde desteklemektedir. Bu doğrultuda antrenörlerin, görev zorluğunu kademeli olarak artıran ve maç baskısını simüle eden uygulamalar tasarlamaları önerilmektedir. Hedef alanlarının daraltılması, zaman baskısının artırılması ya da hata durumlarında ek görevlerin uygulanması gibi yöntemler, sporcuların performanslarını stres altında sürdürebilmelerini desteklemektedir. Bu süreçte performans analizi, antrenman içeriğinin yönlendirilmesinde önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır. Müsabaka sırasında gerçekleştirilen son vuruşların (kazanan vuruşlar, zorunlu hatalar ve basit hatalar) sistematik biçimde analiz edilmesi, sporcunun güçlü ve geliştirilmesi gereken yönlerinin nesnel olarak belirlenmesine olanak tanımaktadır. Örneğin profesyonel erkek padeline kazanan vuruşların büyük bölümünün smaçlardan elde edildiği, buna karşılık hataların çoğunlukla file önü forehand ve backhand voleylerde ortaya çıktığı bildirilmiştir. Bu tür performans verileri, antrenman planlamasında hangi teknik ve taktik unsurların önceliklendirilmesi gerektiğine dair güçlü bir rehber sunmaktadır (Rocamora-Lopez & Mateo-Orcajada, 2025; Conde-Ripoll vd., 2025).

3.2. Ekipman Tasarımı ve Materyal Bilimi

Ekipman, özellikle raket seçimi, padel performansını doğrudan etkileyen en kritik unsurlardan biri olarak öne çıkmaktadır. Modern padel raketleri, malzeme bilimi ve mühendislik alanındaki gelişmelerin spora yansması niteliğinde olup farklı kompozit materyallerin stratejik kombinasyonlarıyla tasarlanmaktadır. Karbon fiber (3K, 12K ve 18K gibi farklı dokuma yoğunluklarında), grafen, cam elyafı ve kevlar gibi malzemeler; raketin dayanıklılığını artırmak, güç aktarım verimliliğini optimize etmek ve titreşim sönümleme özelliklerini geliştirmek amacıyla yaygın biçimde kullanılmaktadır (Nexpadel, 2024; Padel39, 2024). Özellikle karbon fiber, yüksek mukavemet-ağırlık oranı sayesinde hem hafif hem de yapısal olarak güçlü raketlerin üretilmesine olanak tanımaktadır. Grafen katkısı ise raketin genel sertliğini ve güç transferini artırırken titreşim düzeyini azaltarak el, el bileği ve dirsek eklemleri üzerindeki mekanik stresi sınırlamakta ve buna bağlı yaralanma riskinin düşürülmesine katkı sağlamaktadır (Nexpadel, 2024).

Raketin aerodinamik tasarımı da performans üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Hava direncini azaltmaya yönelik optimize edilmiş çerçeve ve delik yapıları, vuruş sırasında raketin salınım hızını (swing speed) artırarak topa aktarılan enerjinin yükselmesine yardımcı olmaktadır. Bunun yanı sıra raket yüzeylerinde kullanılan üç boyutlu dokulu (roughened) yüzeyler, topla temas süresini ve yüzey sürtünmesini artırarak oyunculara daha fazla falso verme imkânı sunmaktadır. Bu özellik, vuruş çeşitliliğini ve taktiksel seçenekleri genişleterek oyunun kontrol ve yönlendirme boyutunu güçlendirmektedir (Nexpadel, 2024).

Raket şekli, padel performansını doğrudan etkileyen önemli bir tasarım özelliği olup oyuncunun oyun stiline ve teknik gereksinimlerine göre seçilmelidir. Günümüzde padel raketleri genel olarak elmas, yuvarlak ve gözyaşı olmak üzere üç temel şekil altında sınıflandırılmaktadır. Elmas (diamond) şekilli raketlerde ağırlık merkezi raketin üst bölümünde konumlanmakta, bu durum daha uzun bir kaldıraç kolu oluşturarak vuruş sırasında daha yüksek güç üretimine olanak tanımaktadır. Bu özellikleri nedeniyle elmas şekilli raketler, ileri seviye ve ofansif oyun anlayışına sahip, özellikle smaç odaklı performans sergileyen sporcular tarafından tercih edilmektedir (Nexpadel, 2024).

Yuvarlak (round) şekilli raketlerde ise ağırlık merkezi raketin merkezine daha yakın konumda bulunur. Bu yapı, daha geniş bir tatlı nokta (sweet spot) ve yüksek manevra kabiliyeti sağlayarak kontrol düzeyini artırmaktadır. Hata toleransının yüksek olması nedeniyle yuvarlak raketler, defansif oyun tarzını benimseyen sporcular ve padel sporuna yeni başlayan bireyler için ideal bir seçenek olarak değerlendirilmektedir (Nexpadel, 2024). Gözyaşı (teardrop)

şekilli raketler ise güç ve kontrol arasında dengeli bir yapı sunmakta; hem ofansif hem de defansif unsurları birlikte kullanmak isteyen orta seviye sporcular için uygun bir alternatif oluşturmaktadır (Nexpadel, 2024). Raket gücünün fiziksel temeli, raketin sertliği, darbe anındaki etkin kütlesi ve esneklik katsayısı gibi mekanik parametrelere dayanmaktadır. Bu değişkenler, topa aktarılan enerjinin miktarını ve vuruşun etkinliğini doğrudan etkilemektedir (Tennis Warehouse University, 2024). Dolayısıyla sporcuların, kendi fiziksel özelliklerini, oyun stillerini ve teknik yeterliliklerini dikkate alarak uygun malzeme, şekil ve ağırlıktaki raketi seçmeleri, performans optimizasyonu açısından kritik bir unsur olarak öne çıkmaktadır.

4. YARALANMA ÖNLEME VE BİYOMEKANİK RİSK FAKTÖRLERİ

Padelin dünya genelinde hızla artan popüleritesi, sporla ilişkili yaralanmaların görülme sıklığında da belirgin bir artışı beraberinde getirmiştir. Sürekli yön değiştirmeler, ani duruş ve başlangıçlar, sıçramalar ve tekrarlayan baş üstü vuruşlar içeren padel, yüksek yoğunluklu ve dinamik bir spor dalı olarak kas-iskelet sistemi üzerinde önemli mekanik yükler oluşturmaktadır. Bu yapısal özellikler, oyuncuları hem akut travmatik yaralanmalara hem de kronik aşırı kullanım (overuse) sendromlarına karşı hassas hâle getirmektedir. Yaralanmaların önlenmesi, spora özgü risk faktörlerinin bütüncül biçimde tanımlanması ve bu riskleri azaltmaya yönelik kanıta dayalı stratejilerin uygulanmasıyla mümkündür. Bu noktada biyomekanik analizler, potansiyel olarak zararlı hareket kalıplarının ve bireysel yapısal yatkınlıkların belirlenmesinde merkezi bir rol üstlenmektedir.

4.1. Omuz Eklemi Risk Faktörleri

Omuz eklemi, padelde en sık yaralanan anatomik bölgelerden biri olup; özellikle smaç, bandeja ve vibora gibi baş üstü vuruşların tekrarlı biçimde uygulanması, omuz yapıları üzerinde yüksek düzeyde mekanik stres oluşturmaktadır. Bu vuruşlar sırasında kolun 90 derecenin üzerinde abduksiyon ve elevasyon pozisyonuna gelmesi, akromiyon ile humerus başı arasındaki subakromiyal boşluğun daralmasına neden olmakta; bu durum rotator manşet tendonları ve subakromiyal bursanın sıkışmasına (impingement) zemin hazırlayarak inflamasyon ve ağrı gelişme riskini artırmaktadır. Ayrıca, vuruşun deselerasyon fazında omuz iç rotator kaslarının eksantrik olarak aşırı yüklenmesi, glenohumeral iç rotasyon eksikliği (Glenohumeral Internal Rotation Deficit – GIRD) gibi fonksiyonel kısıtlılıklara ve SLAP (Superior Labrum Anterior to Posterior) lezyonları gibi labral yaralanmalara yol açabilmektedir. Kinematik çalışmalar, deneyimli ve amatör padel oyuncuları arasında glenohumeral

rotasyon aralıkları ve skapular kinematik paternler açısından anlamlı farklılıklar bulunduğunu ortaya koymuştur (Demeco vd., 2023). Optimal vuruş tekniği, humerus başının glenoid kavite içerisinde dinamik olarak merkezlenmesiyle karakterizedir. Ancak hatalı teknik uygulamalar ve kas kuvvet dengesizlikleri, bu stabilizasyon mekanizmasını bozarak omuz eklemi üzerindeki yükü artırmakta ve yaralanma riskini yükseltmektedir. Yüzeysel elektromiyografi (sEMG) çalışmalarında, omuz tendinopatilerine yatkın sporcularda hareket akıcılığının azaldığı ve kas aktivasyon paternlerinde belirgin sapmalar olduğu bildirilmiştir. Özellikle biceps braki kasının aşırı aktivasyonu ile trapezius ve infraspinatus kaslarının yetersiz aktivasyonu, omuz ekleminde fonksiyonel dengesizlik oluşturarak yaralanma riskini artıran önemli biyomekanik faktörler arasında yer almaktadır (Morotta vd., 2025). Bu tür biyomekanik risk faktörlerinin erken dönemde tespit edilmesi, bireyselleştirilmiş teknik düzeltmeler ve hedefe yönelik egzersiz programları aracılığıyla omuz yaralanmalarının önlenmesine önemli katkılar sunmaktadır.

4.2. Dirsek ve Ön Kol Risk Faktörleri

Tenisiçi dirseği olarak bilinen lateral epikondilit, padel oyuncuları arasında yaygın olarak görülen bir aşırı kullanım yaralanmasıdır. Bu durum, el bileği ve parmakların ekstansiyonundan sorumlu kasların özellikle ekstansör karpi radialis brevis başlangıç noktası olan lateral epikondilde gelişen kronik inflamasyon ve tekrarlayıcı mikro-travmalarla ilişkilidir. Biyomekanik açıdan bakıldığında, yaralanma riskinin özellikle backhand vuruşları sırasında ve hatalı teknik uygulamalarla belirgin biçimde arttığı görülmektedir. Raketi aşırı sıkı kavrama, vuruş anında el bileğinin kontrolsüz biçimde aşırı ekstansiyon ya da fleksiyona girmesi, raket-top temasının tatlı noktanın dışında gerçekleşmesi ve darbe şokunun yeterince sönümlenememesi, lateral epikondil bölgesindeki tendonlara binen yükü önemli ölçüde artırmaktadır. Yüzeysel elektromiyografi (sEMG) çalışmaları, normal oyun koşullarında dahi ekstansör karpi radialis (ECR) kasının, fleksör karpi radialis (FCR) kasına kıyasla anlamlı derecede daha yüksek aktivasyon sergilediğini ortaya koymuştur. Bu durum, ön kol kasları arasında gelişen kronik bir aktivasyon dengesizliğine işaret etmekte ve lateral epikondilit oluşumuna katkıda bulunan temel biyomekanik faktörlerden biri olarak değerlendirilmektedir (Forsström, 2022). Dirsek eklemi üzerindeki yüklenmeyi etkileyen önemli dışsal faktörlerden biri de raketin mekanik özellikleridir. Aşırı ağır raketler vuruş sırasında daha fazla kas kuvveti gerektirirken, çok sert raketler titreşim sönümleme kapasitesini azaltarak darbe şokunun ön kol ve dirsek yapılarına daha fazla iletilmesine neden olmaktadır (JI vd., 2016). Bu bağlamda, sporcunun fiziksel özellikleri ve oyun stiliyle uyumlu ekipman seçimi, padelde dirsek yaralanmalarının önlenmesinde kritik bir strateji olarak öne çıkmaktadır.

4.3. Alt Ekstremité Risk Faktörleri

Padel kortunun görece küçük boyutları ve oyunun yüksek temposu, sporcuların daha sık ve ani yön değiştirme hareketleri yapmasını gerektirmektedir. Bu dinamik yapı, özellikle ayak bileği, diz ve kalça eklemleri üzerinde belirgin mekanik stres oluşturmaktadır. Ayak bileği burkulmaları, padelde en sık karşılaşılan akut yaralanmalar arasında yer almakta olup çoğunlukla ani duruşlar, hızlı dönüşler, yan adımlamalar ve dengesiz basışlar sonucunda gelişen inversiyon mekanizmasıyla ortaya çıkmaktadır. Bu noktada ayakkabı seçimi, yaralanma riskinin azaltılmasında kritik bir dışsal faktör olarak öne çıkmaktadır. Padel için özel olarak tasarlanmış; yeterli yan destek sunan, uygun taban sertliğine ve yan stabiliteye sahip, kaymayı azaltıcı taban desenleri (çoğunlukla balıksırtı veya hegzagonal yapı) içeren ayakkabıların kullanımı, ayak bileği yaralanma riskini anlamlı ölçüde azaltabilmektedir. Nitekim bazı çalışmalar, padel için uygun olmayan ayakkabılarla oynayan rekreasyonel sporcularda alt ekstremité yaralanma riskinin daha yüksek olabileceğini göstermektedir (JI vd., 2016). Diz eklemi ise özellikle ani dönüş ve pivot hareketleri sırasında menisküs yaralanmaları ve bağ hasarları özellikle ön çapraz bağ (ACL) yaralanmaları açısından hassas bir yapı sergilemektedir. Alt ekstremité kas grupları arasındaki kuvvet dengesizlikleri (örneğin, quadriceps–hamstring kuvvet oranı), yetersiz merkez bölgesi (core) stabilitesi, hatalı basma biyomekaniği (aşırı pronasyon veya diz valgusu) ve gelişmemiş propriyoseptif kontrol, padelde diz ve kalça yaralanma riskini artıran temel içsel faktörler arasında yer almaktadır.

- **Yük Yönetimi:** Antrenman yükünün kademeli olarak artırılması (genellikle haftalık artışın %10'u geçmemesi önerilmektedir), yeterli dinlenme ve toparlanma sürelerinin planlanması, aşırı kullanım yaralanmalarının önlenmesinde kritik rol oynar.
- **Ekipman Seçimi:** Sporcunun performans düzeyi, fiziksel özellikleri ve oyun stiline uygun raket ve ayakkabı seçimi, mekanik yüklenmenin kontrol altına alınmasına yardımcı olur.
- **Erken Müdahale:** Ağrı, rahatsızlık hissi veya performans düşüşü gibi erken uyarı belirtilerinin dikkate alınması ve gerekli durumlarda medikal değerlendirmeye başvurulması, yaralanmaların ilerlemesini önleyebilir.

Bu süreçte biyomekanik analizler; stratejilerin kişiye özgü hale getirilmesinde, riskli hareket kalıplarının belirlenmesinde ve sporcunun güvenli bir şekilde spora dönüşünü destekleyecek rehabilitasyon programlarının planlanmasında temel bir rehber işlevi görmektedir (IBV, 2025; Latorre-Sánchez vd.,2025).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Padel, dinamik oyun yapısı, taktiksel çeşitliliği ve geniş katılımcı profiline hitap eden doğasıyla küresel ölçekte hızla gelişen bir spor dalı hâline gelmiştir. Bu kitap bölümünde, padel sporunda kullanılan temel vuruşların biyomekanik ve kinematik temelleri bütüncül bir yaklaşımla ele alınmış; forehand, backhand, servis, voley, bandeja, vibora ve smaç gibi vuruşların mekanik yapıları ayrıntılı biçimde analiz edilmiştir. Ayrıca performansın optimize edilmesine ve yaralanma risklerinin azaltılmasına yönelik stratejiler, güncel bilimsel literatür ışığında değerlendirilmiştir. Bölüm kapsamında sunulan bulgular, padelde üst düzey performansın; kinetik zincirin etkin ve senkronize kullanımı, optimal eklem kinematığı, dengeli kas aktivasyon paternleri ve sporcunun fiziksel özelliklerine uygun ekipman seçimiyle doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Üç boyutlu hareket analizi sistemleri, yüzeyel elektromiyografi ve ataletsel ölçüm birimleri gibi modern biyomekanik teknolojiler, vuruş mekaniğinin objektif olarak değerlendirilmesine olanak tanımakta; teknik hataların erken dönemde tespit edilmesini ve bireyselleştirilmiş düzeltici müdahalelerin uygulanmasını mümkün kılmaktadır. Bununla birlikte, akıllı kort sistemleri ve giyilebilir sensör teknolojileri, antrenman ve maç performansını veri temelli bir süreçle dönüştürerek sporcu gelişiminin daha ölçülebilir ve izlenebilir hâle gelmesine katkı sağlamaktadır. Yaralanma önleme perspektifinden bakıldığında, padelde en sık karşılaşılan omuz, dirsek ve alt ekstremite yaralanmalarının büyük ölçüde biyomekanik risk faktörleriyle ilişkili olduğu görülmektedir. Baş üstü vuruşlara bağlı omuz yüklenmeleri, ön kol kaslarındaki kronik aktivasyon dengesizlikleri ve ani yön değiştirme hareketlerinin alt ekstremite üzerindeki etkileri, yaralanma mekanizmalarının merkezinde yer almaktadır. Bu nedenle, doğru teknik eğitiminin erken dönemde kazandırılması, kas kuvveti ve esnekliği açısından dengeli fiziksel kondisyon programlarının uygulanması, propriyoseptif becerilerin geliştirilmesi, uygun ekipman seçimi ve antrenman yükünün dikkatli biçimde planlanması, sürdürülebilir bir padel kariyerinin temel bileşenleri olarak öne çıkmaktadır.

Sonuç olarak, padelde performans artışı ve yaralanma önleme süreçlerinin birbirinden bağımsız değil, aksine bütüncül bir sistemin parçaları olduğu açıktır. Biyomekanik temelli analizlerin antrenman planlamasına entegre edilmesi; antrenörler, sporcular ve spor bilimciler için daha güvenli, daha verimli ve uzun vadeli başarıyı destekleyen bir yaklaşım sunmaktadır. Gelecekte yapılacak disiplinler arası çalışmaların, padel sporunun teknik, fizyolojik ve psikolojik boyutlarını birlikte ele alarak bu bütüncül yaklaşımı daha da güçlendirmesi beklenmektedir.

Kaynaklar

- Babolat. (2025). *Padel hitting techniques*. <https://www.babolat.com/us/news-articles-blog-padel-hitting-techniques/padel-hitting-techniques.html>
- Caniberk, M., Sesli, F. A., & Çetin, C. (2016). Spor biyomekaniğinde ve üç boyutlu hareket analizinde sayısal fotogrametrinin kullanılması. *Spor Hekimliği Dergisi*, 51(4), 117-127.
- Conde-Ripoll, R., Escudero-Tena, A., Clemente-Suárez, V. J., Navarro Jimenez, E., & Bustamante-Sánchez, Á. (2025). Training under pressure mirrors competition: technical-tactical insights from high-level male padel players. *Frontiers in Sports and Active Living*, 7, 1505817.
- Çetin, N. (1997). *Biyomekanik*. Ankara: Setma Yayıncılık.
- Demeco, A., de Sire, A., Marotta, N., Spanò, R., Carozzo, S., Frizziero, A., .. & Ammendolia, A. (2023). Risk of injury and kinematic assessment of the shoulder biomechanics during strokes in padel players: a cross-sectional study. *Gait & Posture*, 105, 20-21.
- Dönmez, G., Ak, E., Ödek, U., Özberk, N., & Korkusuz, F. (2014). Sporda hareket analizi. *Türk Ortopedi ve Travmatoloji Birliği Derneği (TOTBİD) Dergisi*, 13(4), 369-380.
- Escudero-Tena, A., Sánchez-Alcaraz, B. J., García-Rubio, J., & Ibáñez, S. J. (2021). Analysis of game performance indicators during 2015–2019 World Padel Tour seasons and their influence on match outcome. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(9), 4904.
- Forsström, R. (2022). Measurements of biomechanical workload on the forearm during padel: a pilot study. (Dissertation). <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:umu:diva-206587>
- Funai, Y., Matsunami, M., & Taba, S. (2019). Physiological responses and swimming technique during upper limb critical stroke rate training in competitive swimmers. *Journal of Human Kinetics*, 70, 61–71.
- García-Giménez, A., Pradas de la Fuente, F., Castellar-Otín, C., & Carrasco-Páez, L. (2022). Performance outcome measures in padel: A scoping review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(6), 3412.
- Gea Garcia, G. M., Conesa Garre, C. M., Courel-Ibáñez, J., & Menayo Antunez, R. (2021). Ball type and court surface: A study to determinate the ball rebound kinematics on the padel wall. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 21(2), 226-241.
- Gianikellis, K., & Skiadopoulos, A. (2016, November). 3D kinematic analysis of the three main strokes in paddle tennis motor patterns. In *ISBS-Conference Proceedings Archive*.
- Huston, R. L. (2013). *Fundamentals of biomechanics*. CRC Press.

- Instituto de Biomecánica de Valencia. (2025). *Biomechanics, key to improving padel performance and safety*. <https://www.ibv.org>
- Ji, P. Q., Kerr, Z. Y., & Alcantara, E. (2016). Examination of the risk factors associated with injured recreational padel players in Spain. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 58(1-2), 98-105.
- Kibler, W. B., Press, J., & Sciascia, A. (2006). The role of core stability in athletic function. *Sports medicine*, 36(3), 189-198.
- Latorre-Sánchez, C., Mengual Ortolá, R., Barberà Guillem, R., Gimeno Peña, S., & González García, J. C. (2025). Thermomechanical Assessment of Sports Facilities and Equipment Using Thermography and Artificial Intelligence. In *Application of Infrared Thermography in Sports Science* (pp. 321-364). Cham: Springer Nature Switzerland.
- Marotta, N., Lopresti, E., Demeco, A., Prestifilippo, E., Moggio, L., Longo, U. G., ... & Ammendolia, A. (2025). Predictive role of surface electromyography and shoulder kinematic analysis on injury risk in padel players: A proof-of-concept study. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 10538127251344494.
- Martin, C. (2018). *Biomechanics of the Tennis Serve*. In: Di Giacomo, G., Ellenbecker, T., Kibler, W. (eds) *Tennis Medicine*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-71498-1_1
- Martín-Miguel, I., Gómez-Carmona, C. D., Pino-Ortega, J., & Sánchez-Alcaraz, B. J. (2020). Kinematic and temporal structure of professional padel match play. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 20(6), 979-991.
- Martín-Miguel, I., Escudero-Tena, A., Muñoz, D., & Sánchez-Alcaraz, B. J. (2023). Performance analysis in padel: A systematic review. *Journal of Human Kinetics*, 89, 213.
- McGinnis, P. M. (2021). *Biomechanics of Sport and Exercise 4th Edition With Web Resource*. *Human Kinetics*, 416.
- Nexpadel. (2024). The role of padel racket design in enhancing player performance. <https://nexpadel.com/the-role-of-padel-racket-design-in-enhancing-player-performance/>
- North Padel Club. (2024). How to deal with biomechanics during strokes in the padel game. <https://northpadelclub.ca/how-to-deal-with-biomechanics-during-strokes-in-the-padel-game/>
- Padel39. (2024). The impact of technology on padel equipment. <https://www.padel39.com/blog/the-impact-of-technology-on-padel-equipment>
- Picerno, P. (2017). 25 years of lower limb joint kinematics by using inertial and magnetic sensors: A review of methodological approaches. *Gait & posture*, 51, 239-246.

- Ramón-Llín, J., Muñoz, D., Martín-Miguel, I., & Sánchez-Alcaraz, B. J. (2024). Relationship between ball impact point, type of stroke and shot direction in high-performance padel. *Applied Sciences*, 14(10), 4630.
- Rocamora-López, G., & Mateo-Orcajada, A. (2025). Analysis of Differences in Injuries in Padel Players According to Sport-Specific Factors, Level of Physical Activity, Adherence to the Mediterranean Diet, and Psychological Status. *Sports*, 13(7), 228.
- Sánchez-Alcaraz, B. J., Martín-Miguel, I., Conde-Ripoll, R., Muñoz, D., Escudero-Tena, A., & Sánchez-Pay, A. (2025). Physical Parameters in Young Competitive Padel Players: Strength, Power, Agility, and Smash Velocity Assessments. *Sports*, 13(4), 104.
- Tennis Warehouse University. (2023). Physics of padel racket power. https://twu.tennis-warehouse.com/learning_center/padel/racketpower.php
- Thomas, J., Hall, J.B., Bliss, R., & Guess, TM. (2022). Comparison of Azure Kinect and optical retroreflective motion capture for kinematic and spatiotemporal evaluation of the sit-to-stand test. *Gait & Posture*, 94:153-159.
- Tozkoparan, K. E., & Karaduman, Ö. (2022). Spor biyomekanikliğinde performans analizi için hareket yakalama teknolojisi uygulamaları. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 34(2), 95-111.
- Winter, D. A. (2009). *Biomechanics and motor control of human movement*. John Wiley & sons.
- Yeadon, MR. & Challis, JH. (1992). *Future directions for performance related research in sports biomechanics*. The Sports Council Ancient House Press, Ipswich London:6.