



BASKETBOLDA MAÇ İÇİ İSTATİSTİKLERİNİN MARKOV ZİNCİRLERİ İLE ANALİZİ: STEPHEN CURRY ÖRNEĞİ

ANALYSIS OF IN-MATCH STATISTICS IN BASKETBALL WITH MARKOV CHAINS: THE STEPHEN CURRY EXAMPLE

Gamze ÖZEL¹

Alihan DEMİRCİ²

Hatice Nur KARAKAVAK³

<https://doi.org/10.55071/ticaretfbd.1643592>

Sorumlu Yazar
(Corresponding Author)
hatice.karakavak@hacettepe.edu.tr

Geliş Tarihi
(Received)
20.02.2025

Revizyon Tarihi
(Revised)
29.08.2025

Kabul Tarihi
(Accepted)
18.10.2025

Öz

Basketbol, sürekli evrilen ve dinamikleri hızla değişen bir spor dalıdır. Bu değişimlerin anlaşılması ve oyuncuların performanslarının değerlendirilmesi, modern spor bilimlerinde önemli bir yer tutar. Basketbol istatistikleri, oyuncuların maç içindeki performanslarını çeşitli parametreler üzerinden değerlendirmek için kullanılır. Bu parametreler arasında atış başarısı, ribaund sayısı, asist miktarı ve diğer önemli performans göstergeleri bulunur. Bu tür detaylı istatistikler, oyuncuların güçlü ve zayıf yönlerini belirlemeye ve takım stratejilerini şekillendirmeye yardımcı olur. Markov zinciri analizi, bu istatistiksel verilerin modellemesinde kullanılan güçlü bir matematiksel araçtır. Bir Markov zinciri, bir sonraki durumun yalnızca mevcut duruma bağlı olduğu ve geçmiş tüm durumlardan bağımsız olduğu stokastik bir süreçtir. Basketbol gibi dinamik bir ortamda, Markov zincirleri, oyuncu performansının zaman içindeki değişimlerini ve olası gelecek senaryolarını tahmin etmek için idealdir. Özellikle, oyuncuların maç içi performans değişiklikleri gibi sürekli değişen koşullar altında, Markov zincirleri bu değişkenliği modelleyerek, daha bilinçli kararlar alınmasına imkan tanır. Bu çalışmada NBA yıldızı Stephen Curry'nin performansı üzerine analizler yapılmıştır. Bu analizde Stephen Curry'nin 2015-2016, 2016-2017, 2017-2018 yıllarındaki üçlük sayısı, üçlük yüzdesi, ribaund, asist ve toplam sayı değişkenleri kullanılarak Markov Zinciri analizi ile tahminleri yapılmıştır. Markov zinciri kullanılarak onun üçlük atışları, asistler ve diğer önemli istatistiklerinin nasıl değişebileceği öngörülmüştür. Bu tür analizler, Curry gibi oyuncuların oyun içi etkilerini daha iyi anlaşılmasına ve onların performansının takım başarısı üzerindeki etkilerini değerlendirmemize olanak sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Markov zinciri, spor istatistikleri, stokastik süreçler.

Abstract

Basketball is a constantly evolving sport with rapidly changing dynamics. Understanding these changes and evaluating player performance hold significant importance in modern sports sciences. Basketball statistics are used to assess players' in-game performance across various parameters, including shooting success, rebound numbers, assist amounts, and other critical performance indicators. Such detailed statistics help identify players' strengths and weaknesses and aid in shaping team strategies. Markov chain analysis is a powerful mathematical tool used for modeling these statistical data. A Markov chain is a stochastic process in which the next state depends only on the current state and is independent of all past states. In the dynamic environment of basketball, Markov chains are ideal for predicting changes in player performance over time and possible future scenarios. Especially under continuously changing conditions like in-game performance shifts, Markov chains model this variability, allowing for more informed decision-making. This study has analyzed NBA star Stephen Curry's performance. Using Markov Chain analysis, predictions were made based on his three-point shooting, rebound, assist, and total point statistics from the 2015-2016, 2016-2017, and 2017-2018 seasons. The Markov chain was used to forecast how his three-point shots, assists, and other significant statistics might change. Such analyses are thought to better understand the in-game effects of players like Curry and assess the impact of their performance on team success.

Keywords: Markov chain, sports statistics, stochastic processes.

¹ Hacettepe Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, Ankara, Türkiye.
gamzeozl@hacettepe.edu.tr.

² Hacettepe Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, Ankara, Türkiye.
demircialihan44@gmail.com.

³ Hacettepe Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, Ankara, Türkiye.
hatice.karakavak@hacettepe.edu.tr.

1. GİRİŞ

Spor istatistikleri, modern spor bilimlerinin temel yapı taşlarından biri olarak kabul edilir. Bu istatistikler, farklı spor dallarında oyuncuların ve takımların performanslarını objektif bir şekilde değerlendirmek için kullanılır. İstatistiksel ölçümler, bir oyuncunun veya takımın maç içindeki başarılarını sayısal verilerle ifade eder ve bu veriler, detaylı performans analizlerine olanak tanır. Bu analizler, sporcuların sayı üretme yeteneği, savunma becerileri, ribaund alma kapasitesi ve asist yapma gibi spesifik yeteneklerini ölçer. Bu sayede, antrenörler ve takım yöneticileri, oyuncuların güçlü ve zayıf yönlerini belirleyerek performans iyileştirme stratejileri geliştirebilirler. Spor istatistikleri, ayrıca farklı oyuncuları veya takımları birbiriyle karşılaştırmak ve rekabetçi analizler yapmak için de temel bir araçtır. İstatistikler sayesinde, oyuncuların ve takımların başarıları ve sahadaki etkileri objektif bir şekilde değerlendirilir. Bu objektif değerlendirmeler, spor yöneticilerine, oyuncu seçimleri ve takım taktiklerini planlama konusunda kritik veriler sağlar. İstatistiklerin sağladığı bu veriler, özellikle dinamik ve sürekli değişen koşulların olduğu basketbol gibi spor dallarında, takım stratejilerinin ve oyuncu gelişim programlarının şekillendirilmesinde hayati bir role sahiptir. Dünyada popüler bir takım sporu olan basketbol, diğer takım sporlarından ayrılan özgün yapısal ve işlevsel özelliklere sahiptir. Futbol, takım hentbolü, hokey, ragbi, su topu gibi diğer top sporlarıyla aynı ağaca ait olsalar da, basketbolun kendine özgü yapısal ve işlevsel özellikleri vardır. Bu spor, yüksek oyun temposu, küçük saha ölçüleri, hızlı hücum-geçiş dengesi ve oyuncular arası sürekli etkileşim gerektirmesiyle diğer takım sporlarından farklılaşmaktadır. (Trninić ve ark., 1995; Trninić ve ark., 2010a, 2010b).

Maç içi istatistikler, bir oyuncunun gelişimini izlemek ve ilerlemesini takip etmek için önemlidir. İstatistikler, oyuncunun zaman içindeki performans trendlerini ortaya koyarak, hangi alanlarda ilerleme kaydettiğini veya geliştirmesi gereken yönleri belirlemeyi sağlar. Bu bilgiler, oyuncunun antrenman programını, çalışma alanlarını ve stratejilerini belirlemesinde yardımcı olur. Maç içi istatistikler, takımların oyun planlarını oluştururken ve stratejilerini geliştirirken önemli bir rol oynar. İstatistikler, takımın hangi oyuncuların daha verimli olduğunu, hangi alanlarda daha güçlü olduğunu ve hangi oyun tarzının daha başarılı sonuçlar verdiğini gösterir. Bu bilgiler, takımın hücum ve savunma stratejilerini belirlerken önemli bir rehberlik sağlar. Basketbol oyununun işlevsel analizine odaklanan yaklaşım, oyun yapısı içindeki etkileşim ve bağımlılık parametrelerinin ayrıştırılmasını sağlar. Ayrıca, hücum ve savunma taktiksel niyetlerin ilişkilerinin ve ilişkilendirmelerinin işlevsel analizine olanak tanır (Hernandez, 1987; Trninić, 1995). Bu yaklaşım, matematiksel formalizasyon ve basketbol oyun sistemi içindeki karmaşık etkileşimlerin analizi için olanak sağlar (Trninić ve ark., 1994). Lapham ve Bartlett (1995), McGarry ve ark. (2002) ve Lees (2002), spor müsabakalarında gerçekleşen karmaşık etkileşimlerin araştırılmasının çok önemli olduğunu düşünmekte ve bunların daha fazla keşfedilmesini önermektedir.

Markov zinciri, bir olayın gelecekteki durumunu sadece mevcut duruma dayanarak ve geçmiş tüm durumlardan bağımsız olarak tahmin etmek için kullanılan, markovyen varsayıma dayanan stokastik bir süreçtir. Basketbol oyuncularının maç içi istatistikleri Markov zinciriyle analiz edilerek, bir oyuncunun mevcut durumu ve performansı üzerinden gelecekteki performansı tahmin edilebilir. Örneğin, bir basketbol oyuncusunun sahada farklı durumlar arasında nasıl geçiş yaptığını ve bu durumlarda ne kadar verimli olduğunu görmek için markov zincirleri kullanılabilir. Böylece,

oyuncunun güçlü ve zayıf yönleri belirlenebilir ve performansını iyileştirmek için odaklanılması gereken alanlar tespit edilebilir. Markov zincirleri, spor bilimi alanında ilk kez Bellman'ın 1977 tarihli makalesinde kullanılmıştır. Norman (1999), spor bilimlerinde stokastik süreçlerin modelleme için kullanılması olasılıklarını analiz ettiği 17 bilimsel makaleye genel bir bakış sunmuştur. Clarke ve Norman (1998) ise kriket oyununda çeşitli karar verme süreçlerini incelemek için stokastik tekniklerden yararlanmışlardır. Hirotso ve Wright (2003), Markov zincirlerini kullanarak beyzbol oyununu analiz etmiştir. Bu yaklaşımın nasıl optimal vuruş stratejilerini seçmede yardımcı olabileceğini ve elde edilen stratejinin takip edilmesi durumunda kazanma olasılığının ne kadar arttığını göstermişlerdir. Ayrıca, bir oyunun herhangi bir durumunda kazanma olasılığı, Markov modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Bunun için milyonlarca eşzamanlı denklemi çözen bir doğrusal sistem kullanılmıştır. Squash (Ap Simon, 1951, 1957; Clarke ve Norman, 1979; Pollard, 1985; Schutz ve Kinsey, 1977; Wright, 1988), tenis (Croucher, 1982, 1986; Morris, 1977; Pollard, 1987; Schutz, 1970), badminton (Clarke, 1979; Renick, 1977), voleybol (Pfeifer ve Deutch, 1981) ve beyzbol (Trueman, 1977) gibi sporlarla ilgili olarak, olasılığa dayalı olarak skor yapısı ve bazı durumlarda optimal karar verme stratejilerinin belirlenmesi gibi konuları kapsayan deneysel araştırmalar yapılmıştır. Bu yazarları takip ederek, McGarry ve Franks (1994, 1996a, 1996b) squash oyunlarındaki motor davranışları (vuruşlar) Markov zincirleri kullanarak modellemiştir. Heuer ve Rubner (2012) ise, futbol sonuçlarının analizi üzerine odaklanmış ve maç sonuçlarını etkileyen dinamiklerin anlaşılması için stokastik modellerin, özellikle de Markov Zincirlerinin nasıl kullanıldığını incelemiştir. Bunker ve Thabtah (2019) tarafından spor sonuçlarının tahmin edilmesi için çeşitli makine öğrenmesi tekniklerini incelenmiş ve Markov Zincirlerinin kullanımına özel bir vurgu yapılmıştır.

Basketbolda ise Markov zinciri temelli analizler önemli ve yenilikçi yönelimler göstermiştir. Sandri ve ark. (2020), oyuncuların atış performansındaki değişkenliği ve takım içi sinerjileri incelemek için Markov switching modellerini kullanarak bireysel performans dalgalanmalarının takım verimliliği üzerindeki etkilerini ortaya koymuştur. Benzer şekilde, Sandholtz ve Bornn (2020), basketbol hücumlarını dinamik geçiş olasılıklarına sahip Markov karar süreçleri (MDP) ile modelleyerek, şut saatine bağlı strateji seçimlerini incelemiş ve alternatif politika senaryolarının verimlilik üzerindeki etkilerini simüle etmiştir. Kolias ve ark. (2021) ise oyuncu rotasyon beşlilerinin hücum ve savunma performanslarını Markov zinciri modellemesi ile değerlendirerek, uzun vadede hangi kadroların üstünlük sağladığını göstermiştir. Daha yakın tarihte Calvo ve ark. (2023), basketbolda “hot hand” olgusunu gizli Markov modelleri aracılığıyla incelemiş ve seriler halinde şut başarısının olasılıksal olarak nasıl değiştiğini analiz etmiştir. Ayrıca Flatz ve ark. (2025), “Knockout” gibi saha oyunlarını Markov süreçleriyle modelleyerek farklı başlangıç pozisyonlarının kazanma olasılıkları üzerindeki etkilerini ortaya koymuştur. Bu çalışmalar, Markov zincirlerinin yalnızca bireysel performans analizinde değil, aynı zamanda oyun stratejilerinin, oyuncu etkileşimlerinin ve kadro tercihleri gibi daha geniş boyutlarda da güçlü bir araç olarak kullanılabildiğini göstermektedir.

Basketbol istatistiklerinin analizinde Markov zincirleri önemli bir araç olmakla birlikte, son yıllarda farklı istatistiksel yöntemlerin de giderek yaygın biçimde uygulandığı görülmektedir. Örneğin, Briz-Redón (2024), saha içi skor üretimlerini açıklamak amacıyla Poisson zaman serisi ve INGARCH modellerini kullanmış ve oyuncu ile

takımların hücum performanslarındaki zamansal bağımlılıkları yakalayabilmiştir. Attard ve ark. (2023), basketbol skorlarının modellenmesinde Bayesyen hiyerarşik modelleri uygulamış; serbest atış, iki sayılık ve üç sayılık atışların ayrı ayrı modellenmesiyle hem hücum-savunma etkinliklerini hem de maç sonuçlarını tahmin etmede yüksek doğruluk elde etmişlerdir. Ouyang ve ark. (2024), makine öğrenmesi yöntemleri olan XGBoost ve SHAP algoritmalarını entegre ederek gerçek zamanlı maç sonucu tahminleri gerçekleştirmiş; top kaybı, ribaund ve şut yüzdesi gibi göstergelerin oyunun farklı periyotlarındaki belirleyici etkilerini ortaya koymuştur. Papageorgiou ve ark. (2025), NBA oyuncularının günlük performanslarını tahmin etmek için çoklu makine öğrenmesi modelleri ve doğrusal optimizasyon tekniklerini bir araya getirmiş ve bu yöntemlerin spor uygulamalarında yüksek doğruluk ve kârlılık sağladığını göstermiştir. Bu çalışmalar, Markov zincirleri dışında da basketbol verilerinin modellenmesinde farklı istatistiksel yaklaşımların etkin biçimde kullanıldığını göstermektedir.

Stephen Curry, NBA'de oynayan ve modern basketbolun en etkileyici figürlerinden biri olarak kabul edilen bir oyuncudur. Golden State Warriors takımının bir parçası olan Curry, özellikle üstün şut yetenekleri ve oyun görüşü ile tanınır. Kariyeri boyunca pek çok önemli başarıya imza atan Curry, NBA tarihindeki en iyi şutörler arasında yer almaktadır. Üç puan çizgisinin ötesinden gösterdiği olağanüstü performans ve maçları yönlendirme kabiliyeti ile dikkat çeken Curry, birden fazla NBA şampiyonluğu kazanmış ve üç kez NBA En Değerli Oyuncu (MVP) ödülünü almıştır. Bu başarılar, onun sadece skor yeteneği ile değil, aynı zamanda oyunu şekillendirme ve takım arkadaşlarını daha iyi pozisyonlara getirme becerisiyle de öne çıktığını göstermektedir. Bu çalışma, Stephen Curry'nin 2015-2018 yılları arasında normal sezon ve playoff maçlarında sergilediği performansın detaylı bir analizini sunmaktadır. Analiz, kesikli parametrelili Markov zincirleri kullanılarak yapılmış olup, Curry'nin maç içi istatistiklerinin zaman içinde nasıl değiştiğini ve bu değişimlerin takımın genel performansı üzerindeki etkilerini incelemektedir. Markov zincirleri, Curry'nin performansındaki değişkenlikleri ve bu değişkenliklerin sonuçları üzerindeki olası etkileri modellemek için kullanılmıştır, böylece onun saha içindeki etkinliklerinin daha iyi anlaşılması sağlanmıştır. Böylece, basketbol oyuncularının stili ve performansındaki örüntüleri detaylı bir şekilde ortaya konulması ve onun NBA'deki etkisinin daha derinlemesine bir değerlendirilmesine olanak sağlanmıştır.

2. YÖNTEM

Markov zincirleri, rastgele süreçleri modellemek için kullanılan matematiksel bir yöntemdir ve stokastik (rastgele) süreçlerdeki durumların zaman içinde nasıl değişebileceğini tanımlamak için kullanılır. Bu yöntem, Rus matematikçi Andrey Markov tarafından 1906 yılında geliştirilmiştir. Markov süreci, bir stokastik sürecin şu anki değerleri bilindiğinde, sürecin gelecekteki değerlerinin geçmişteki değerlerinden koşullu olarak bağımsız olduğu süreçtir (Özel Kadılar, 2023). Markov zinciri ise, Markov sürecinin kesikli durum uzayına sahip olduğu özel bir durumudur. Markov zincirleri, stokastik sistemlerin kısa veya uzun dönemdeki davranışlarının modellenmesinde yararlanılmaktadır. Örneğin, finans, pazar araştırmaları, genetik, ilaç sektörü, demografi, psikoloji, kuyruk kuramı, güvenilirlik, işgücü tahmini, performans analizi, alacak yönetimi, hisse senedi fiyat değişimleri gibi konularda sıklıkla kullanılmaktadır. Sosyolojide, Markov zincirleri bir ailenin birbirini takip eden üç

kuşağının (büyükbaba, baba, çocuk) sınıfları (üst sınıf, orta sınıf, alt sınıf) arasındaki sosyal hareketliliğin kısa ve uzun dönemli davranışı Prais (1955) tarafından incelenmiştir. Hidrobiyolojide, gelecekteki kuraklık tahminlerini veren kuraklık indeks değerlerinin değişimi Markov zincirlerine dayandırılarak Reis ve Dutal (2016) tarafından elde edilmiştir.

Markov zincirlerinin temel özelliği, bir sürecin gelecekteki durumunun yalnızca mevcut duruma bağlı olması ve geçmiş durumların bu gelecek durum üzerinde doğrudan bir etkisinin olmamasıdır. Bu özellik "belleksizlik" veya "Markov özelliği" olarak bilinir. Markov özelliği adı verilen bu özelliğe sahip bir süreçte, bir durumdan diğer duruma geçiş, sadece bir önceki duruma bağlı olan koşullu olasılıklar ile ifade edilmektedir (Kayran ve ark., 2014).

T parametre uzayındaki n sayıda zaman noktasının herhangi bir $t_1 < \dots < t_n$ kümesi için, $X_{t_1}, X_{t_2}, \dots, X_{t_n}$ 'nin aldığı değerlerler biliniyorken, $X_{t_{n+1}}$ 'nin koşullu dağılımı yalnızca X_{t_n} 'in değerlerine bağlı ise, $\{X_t, t \in T\}$ sürecine Markov zinciri adı verilir. Buna göre, herhangi gerçel $X_1 < \dots < X_n$ sayıları için,

$$P(X_{t_{n+1}} = x_{n+1} / X_{t_1} = x_1, \dots, X_{t_n} = x_n) = P(X_{t_{n+1}} = x_{n+1} / X_{t_n} = x_n) \quad (1)$$

olur. Bu eşitliğe Markov özelliği adı verilir. Eşitlik (1)'de verilen Markov özelliğine sahip bir stokastik sürecin durum uzayında $S = \{0, 1, \dots, m\}$ biçiminde sonlu sayıda veya $S = \{0, 1, 2, \dots\}$ biçiminde sayılabilir sonsuzlukta kesikli durum varsa, $\{X_t, t \in T\}$ Markov süreci, Markov zinciri olarak tanımlanır (Özel Kadılar, 2023).

Eşitlik (1)'de verilen Markov özelliğini taşıyan bir stokastik süreçte, kesikli durum uzayı S ve parametre uzayı T kesikli ise, $\{X_n, n = 0, 1, 2, \dots\}$ süreci kesikli parametrelili bir Markov zinciridir. Kesikli parametrelili Markov zincirinde X_n , n. adımda sürecin bulunduğu durumu ve n bulunulan zamanı göstermektedir (Kayran ve ark., 2014).

Homojen bir Markov zincirinde m. adımda i durumunda bulunan sürecin tek adım sonra j durumunda bulunması olasılığı,

$$p_{ij} = p_{ij}(1) = p_{ij}^{(1)} = P(X_{m+1} = j / X_m = i) \quad (2)$$

biçiminde gösterilir. Bu olasılığa tek-adım geçiş olasılığı adı verilir. Bir Markov zincirinde tek-adım geçiş olasılıklarının oluşturdukları matrise tek-adım geçiş matrisi adı verilir. Durum uzayı $S = \{0, 1, 2, \dots\}$ biçiminde sayılabilir sonsuzlukta duruma sahip ise geçiş matrisi aşağıdaki gibi gösterilir:

$$\mathbf{P} = [p_{ij}] = \begin{matrix} & \begin{matrix} 0 & 1 & 2 & \dots \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 \\ 1 \\ 2 \\ \vdots \end{matrix} & \begin{bmatrix} p_{01} & p_{02} & p_{03} & \dots \\ p_{11} & p_{12} & p_{13} & \dots \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3)$$

Homojen bir Markov zincirinde n-adım geçiş olasılığı,

$$p_{ij}^{(n)} = p_{ij}^{(n)} = P(X_{m+n} = j / X_m = i) \quad (4)$$

biçimindedir. Genel olarak $\forall i, j$ için

$$p_{ij}^{(n)} = \sum_k p_{ik}^{(n-m)} p_{kj}^{(m)}, 0 < m < n \quad (5)$$

yazılır (Özel Kadılar, 2023). Bu denklem, Chapman-Kolmogorov denklemi olarak isimlendirilir ve sağ tarafı aynı zamanda bir matris çarpım işlemi olduğundan aşağıdaki gibi de ifade edilebilir:

$$\mathbf{P}^{(n)} = \mathbf{P}^n = \mathbf{P}^{n-m} \mathbf{P}^m.$$

Burada $\mathbf{P}^n$, n-adım geçiş olasılıklarının oluşturduğu n-adım geçiş matrisidir (Özel Kadılar, 2023).

Bir Markov zincirinde tek-adım geçiş matrisi zaman içerisinde değişmediğinden, n-adım geçiş matrisi tek-adım geçiş matrisinin n. kuvveti alınarak kolayca bulunabilir. Yukarıdaki denklemler Chapman-Kolmogorov denkleminin genel biçimi olup, $m=1$ için elde edilen ve en çok kullanılan özel biçimi aşağıda verilmiştir:

$$p_{ij}^{(n)} = \sum_k p_{ik}^{(n-1)} p_{kj}, \quad \mathbf{P}^{(n)} = \mathbf{P} \mathbf{P} \dots \mathbf{P} = \mathbf{P}^n = \mathbf{P} \mathbf{P}^{n-1} = \mathbf{P}^{n-1} \mathbf{P}. \quad (6)$$

$\mathbf{P}$ geçiş matrisinin n. kuvveti alındığında elde edilen n-adım geçiş matrisi $\mathbf{P}^n$ 'de, n değeri büyüdükçe $p_{ij}^{(n)}$ olasılık değerleri sabit bir değere veya limite yaklaşır, n-adım geçiş olasılıkları kararlı bir yapıya, diğer bir deyişle denge durumuna ulaşır. Denge durumu, sürecin çok sayıda adım sonra hangi durumda olacağına ilişkin olasılık yapısının sürecin başlangıç durumundan bağımsız hale gelmesidir (Kayran ve ark., 2014). Diğer bir ifadeyle, geçiş matrislerinin kuvvetleri alındığında denge durumuna ulaştıktan sonra geçiş matrisinin satırlarında değişim olmamakta ve geçiş matrisi her satırı aynı olan bir satır vektörüne dönüşmektedir. Bu noktada, Markov zincirlerinde kapalı küme (dışına çıkışın olmadığı durumlar kümesi), yutucu durum (girilince çıkılamayan durum) ve periyodik durum (yalnızca belirli adım aralıklarıyla tekrar edilebilen durum) kavramları önemlidir. Zincirde bu tür yapılar bulunmadığında ve zincir indirgenemez ve aperiodik olduğunda, süreç mutlaka bir denge dağılımına ulaşır (Çınlar, 1977; Özel Kadılar, 2023).

$\mathbf{P}$, m duruma sahip ergodik bir Markov zincirinin n adım sonraki geçiş olasılıkları için aşağıdaki eşitlik yazılabilir:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \mathbf{P}^n = \begin{bmatrix} \pi_0 & \pi_1 & \cdots & \pi_m \\ \pi_0 & \pi_1 & \cdots & \pi_m \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \pi_0 & \pi_1 & \cdots & \pi_m \end{bmatrix}$$

Buna göre, n 'nin büyük değerleri için $\mathbf{P}^n$ vektörü aynı satır olasılıklarına sahip olur ve aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$\pi_j = \lim_{n \rightarrow \infty} P_{ij}^n$$

Kesikli parametrelili Markov zinciri uzun bir zaman sonra denge durumuna erişir ve başlangıç durumundan bağımsız olarak j durumunda bulunma olasılığı π_j olur. Bu değerlerin oluşturduğu denge vektörü, diğer bir deyişle denge (limit) durumu veya kararlılık durumu, aşağıdaki gibidir:

$$\pi = [\pi_0 \quad \pi_1 \quad \cdots \quad \pi_m]$$

$\mathbf{P}$ geçiş matrisi ile verilen bir zincir için denge durumu olasılıkları $\pi_j = \sum_{k=0}^m \pi_k \cdot P_{kj}$ eşitliğinden, matris formatında yazılan $\pi = \pi \mathbf{P}$ denge dağılımı eşitliği veya

$$[\pi_0 \quad \pi_1 \quad \cdots \quad \pi_m] = [\pi_0 \quad \pi_1 \quad \cdots \quad \pi_m] \begin{bmatrix} P_{00} & P_{01} & \cdots & P_{0m} \\ P_{10} & P_{11} & \cdots & P_{1m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ P_{m0} & P_{m1} & \cdots & P_{mm} \end{bmatrix}$$

eşitliğinden elde edilir. Burada, $\mathbf{P}$ geçiş matrisinin rankı her zaman $(m-1)$ 'den küçük olduğundan bu sistem sonsuz sayıda çözüme sahiptir.

Denge vektörünün satır toplamı 1'e eşit olacağından, $\pi_0 + \pi_1 + \cdots + \pi_m = 1$ koşulu ile denklem sistemine keyfi bir denklem daha eklenerek elde edilen m bilinmeyen, $m+1$ denklemden oluşan denklem sistemi aşağıdaki gibidir:

$$\pi_0 P_{00} + \pi_1 P_{10} + \cdots + \pi_m P_{m0} = \pi_0$$

$$\pi_0 P_{01} + \pi_1 P_{11} + \cdots + \pi_m P_{m1} = \pi_1$$

$$\vdots$$

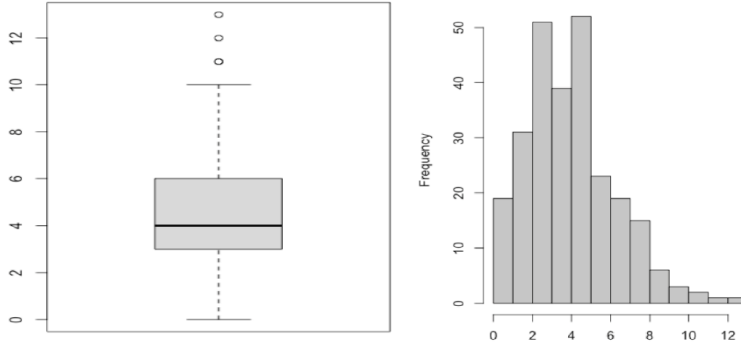
$$\pi_0 P_{0m} + \pi_1 P_{1m} + \cdots + \pi_m P_{mm} = \pi_m$$

Satır toplamının 1 olduğu eşitlik denklem sistemine eklenerek ve değişkenlerden biri çekilerek denklem sisteminde o değişkenin sağ tarafta bulunduğu yere yazılarak m

denklem ve m bilinmeyenli bir denklem sistemi elde edilir, ve bu sistem çözülür (Kayran ve ark., 2014). Bu denklem sisteminin çözümü ile denge durumu olasılıklarına ulaşılır. İndirgenemez bir Markov zincirinde denge durumuna ulaşıldıktan sonra da durumlar arası geçiş devam etmektedir. Ancak geçiş olasılıkları bulunulan durumdan bağımsız hale gelmiştir. Bu nedenle, denge durumuna ulaşılan ilk adımdan sonraki diğer adımlar için denge vektörü kullanılmaktadır.

3. MATERYAL

Çalışmada kullanılan veriler Entertainment and Sports Programming Network (ESPN, Eğlence ve Spor Programlama Ağı) sitesinden alınmıştır (<https://www.espn.com/nba/stats>). Stephen Curry'nin 2015-2016, 2016-2017 ve 2017-2018 sezonlarındaki oynadığı normal sezon ve play-off maçlarına ait her değişken için 262 adet veri kullanılmıştır. Üçlük sayısı, basketbolda üç sayılık atışların sayısını ifade eder. Üçlük, oyuncunun oyuncu alanının dışından, genellikle üç sayı çizgisinin gerisinden atılan bir şuttur. Başarılı bir üçlük atışı, takımına üç sayı kazandırırken, savunmada da rakip takımın savunma stratejisini zorlar. Üçlük sayısı, bir takımın hücum stratejisi ve oyuncularının şut becerisiyle yakından ilişkilidir. Bazı oyuncular, üçlük atışlarında özellikle etkilidir ve bu oyuncular "dış şütör" olarak tanınır. Üçlük sayısının yüksek olması, bir takımın hücum etkinliğini artırabilir ve skor üstünlüğü sağlayabilir. Aynı zamanda, üçlük sayısı savunma stratejisini de etkileyebilir. Eğer bir takımın üçlük atışları başarılı ise, rakip takımın savunma taktikleri bu şutları engellemek veya azaltmak için ayarlanabilir. Bu da hücum stratejilerinin ve oyun planlamasının önemli bir parçası haline gelir. Stephen Curry'nin üç sezon boyunca attığı üçlük sayılarının temel istatistikleri incelendiğinde medyan (ortanca) değeri 4, ortalama değeri 4,458, çarpıklık değeri 0,6816, basıklık değeri 0,5731 çıkmıştır. Stephen Curry'nin üç sezon boyunca attığı üçlük sayılarının temel istatistikleri değerlendirildiğinde, ortanca değerinin 4 olması, atışlarının yarısı veya yaklaşık yarısının 4 veya daha az, diğer yarısının ise 4 veya daha fazla olarak gerçekleştiğini göstermektedir. Ortalamanın 4,458 olması ise, her maçta 4,458 üçlük sayısı attığı anlamına gelmektedir. Çarpıklık, veri dağılımının simetrik olup olmadığını gösteren bir ölçüdür. Üçlük atış sayılarına ait çarpıklık değerinin 0,6816 olması ise, Stephen Curry'nin üçlük sayılarının sağa çarpık olduğunu gösterir, yani daha yüksek üçlük sayılarına doğru bir eğilim vardır. Yani, Curry'nin daha fazla maçta yüksek üçlük sayılarına sahip olduğu ve bu alanda uzmanlaştığı sonucuna ulaşılabilir. Basıklık, veri dağılımının nasıl dağıldığını ve tepe noktasının ne kadar keskin olduğunu gösterir. Bu değer, veri dağılımının düzgün bir şekilde dağıldığını ve tepe noktasının nispeten düşük olduğunu gösterir. Basıklık değerinin 0,5731 olması ise, Stephen Curry'nin üçlük sayılarının, genel olarak homojen bir şekilde dağıldığı anlamına gelmektedir. Bu istatistiklere dayanarak, Stephen Curry'nin üçlük atışlarında istikrarlı bir performans sergilediği ve genellikle yüksek üçlük sayılarına sahip olduğu söylenebilir.

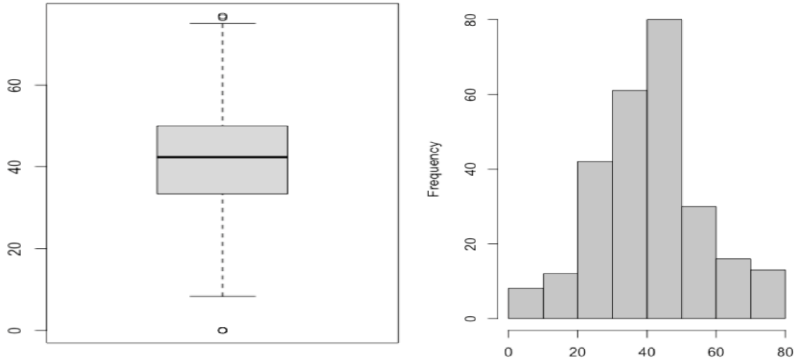


Şekil 1. Oyuncunun Üçlük Sayılarına Ait Kutu Grafiği ve Histogram

Şekil 1’de üçlük sayılarına ait kutu grafiği ve histogram sunulmuştur. Şekil 1’den görülebileceği gibi veri sağa çarpıktır ve basıklık pozitif olduğu için sivri bir dağılımdır denebilir. Maç başına ortalama 4,458 tane üçlük atıldığı söylenebilir. 3 adet aykırı değer olabilecek değer gözlemlenmiştir.

Üçlük yüzdesi, attığı üçlük atışlarının ne kadarının sayıya dönüştüğünü ifade eder. Üçlük yüzdesi, bir oyuncunun şut becerisini değerlendirmek için önemli bir ölçüdür. Yüksek bir üçlük yüzdesi, oyuncunun isabetli şut yapma yeteneğini ve etkili bir dış şutör olduğunu gösterirken, düşük bir üçlük yüzdesi ise isabetli şut oranının düşük olduğunu veya geliştirilmesi gerektiğini gösterebilir.

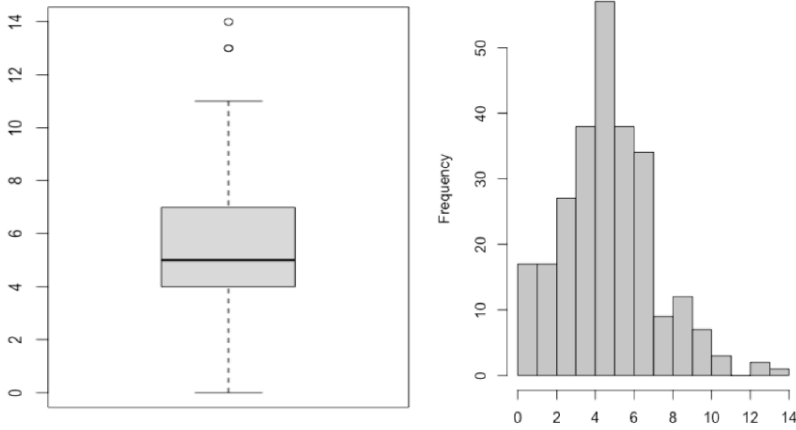
Stephen Curry'nin üçlük yüzdesiyle ilgili temel istatistikleri incelediğinde, medyan değeri 42,3 bulunmuştur. Yani, üçlük yüzdelerinin yarısı veya yaklaşık yarısı 42,3 veya daha az, diğer yarısı ise 42,3 veya daha fazla olarak gerçekleşmiştir. Üçlük yüzdesine ait ortalama değeri ise, 41,59’dır. Ortalama olarak Curry'nin üçlük atışlarının %41,59'u sayıya dönüşmektedir. Çarpıklık değeri -0,063 olup, negatif çarpıklık değeri, veri dağılımının sola çarpık olduğunu gösterir. Curry'nin üçlük yüzdeleri daha düşük yüzdelerde yoğunlaşmıştır ve daha yüksek yüzdeler daha azdır. Üçlük yüzdelerine ait basıklık değeri olan 0,017 ise, veri dağılımının nispeten düzgün olduğunu ve tepe noktasının hafifçe düşük olduğunu gösterir. Kısaca oyuncunun üçlük yüzdesi verileri genel olarak homojen bir dağılım sergilemektedir. Özetle, bu istatistiklere dayanarak, Stephen Curry'nin üçlük yüzdelerinin genel olarak yüksek olduğu ve Curry'nin üçlük atışlarının çoğunun sayıya dönüştüğü görülmektedir. Negatif çarpıklık değeri, yüksek yüzdelerin daha az olduğunu ve dağılımın sola çekildiğini göstermektedir. Ancak, basıklık değeri çok düşük olduğundan, üçlük yüzdeleri genel olarak homojen bir şekilde dağılmış gibi görünmektedir.



Şekil 2. Oyuncunun Üçlük Yüzdelere Ait Kutu Grafiği ve Histogram

Şekil 2’de üçlük yüzdelere ait kutu grafiği ve histogram elde edilmiştir. Histogram incelendiğinde dağılımın simetrik bir yapıya sahip olduğu ve normal dağılıma oldukça yakın görüldüğü söylenebilir. Kutu grafiği incelendiğinde 2 adet aykırı değer olabilecek değer gözlemlenmiştir.

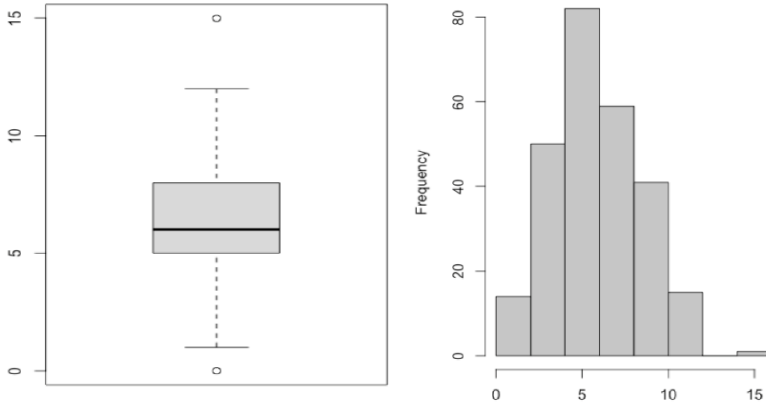
Ribaund, basketbolda topun potadan dışarı çıktıktan sonra oyun alanına geri dönmesini veya bir oyuncu tarafından kaçırılan bir şut sonrasında topun tekrar yakalanmasını ifade eder. Ribaundlar, topun kontrolünü ele geçirmek ve hücum veya savunma pozisyonunu değiştirmek için önemli bir rol oynar. Ribaundlar, oyunun kontrolünü sağlamak, hücum şanslarını artırmak veya rakip takımın hücumunu engellemek için kritik bir faktördür. Yüksek ribaund yeteneğine sahip oyuncular, takımlarına önemli bir avantaj sağlar ve hem hücumda hem de savunmada etkili olabilirler. Curry’nin ribaund sayısı temel istatistikleri incelendiğinde medyan değeri 5, ortalama 5,172, çarpıklık değeri 0,491 ve basıklık değeri 0,689 çıkmıştır. Medyan değerine göre, Curry’nin ribaund sayılarının yarısı veya yaklaşık yarısı 5 veya daha az, diğer yarısı ise 5 veya daha fazla olmuştur. Curry, maç başına ortalama olarak 5,172 ribaund yapmıştır. Çarpıklık değeri 0,491 olduğundan, ribaund sayıları, sağa doğru çarpık bir dağılım sergilemektedir. Yani, daha yüksek ribaund sayılarının daha sık gerçekleştiği görülmektedir. Basıklık değeri 0,689 için ribaund sayıları, hafifçe basık bir dağılım göstermektedir. Bu, ribaundların genel olarak homojen bir şekilde dağıldığını göstermektedir.



Şekil 3. Oyuncunun Ribaund Sayılarına Ait Kutu Grafiği ve Histogram

Şekil 3'te ribaund sayılarına ait kutu grafiği ve histogram grafiği görülmektedir. Buna göre, sağa çarpık ve basıklık verinin sivri bir veri olduğu söylenebilir. Bu sivrilige bakılarak verinin ortalamaya yakın değerlerde bir birikim olduğu yorumu yapılabilir. Ayrıca 2 adet aykırı değer kutu grafiğinden görülmektedir.

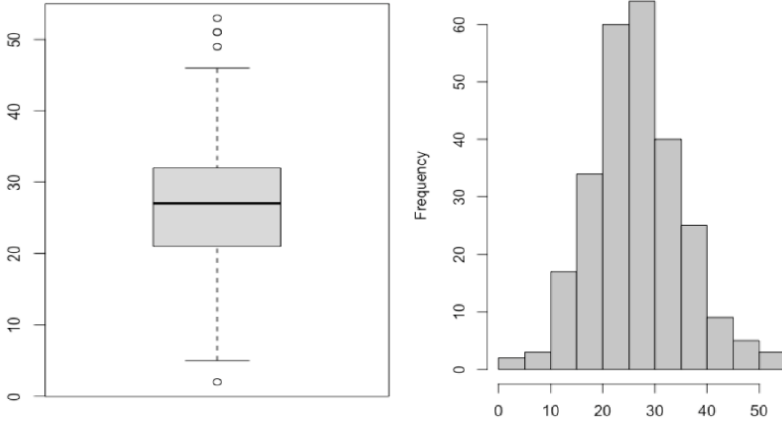
Asist, basketbol oyununda bir oyuncunun takım arkadaşına topu paslayarak takımının sayı atmasına yardımcı olmasıdır. Bir oyuncunun asist yapabilmesi için, pasladığı oyuncunun topu hemen alıp sayı atması veya sayıya doğrudan katkıda bulunması gerekmektedir. Asist, takım oyununun önemli bir parçasıdır çünkü asist yapan oyuncu, takım arkadaşını daha iyi bir skor pozisyonuna sokarak hücum etkinliğini artırır. Oyuncunun asist değerlerinin temel istatistikleri incelendiğinde medyan 6, ortalama 6,359, çarpıklık 0,165, basıklık -0,305 olarak elde edilmiştir. Medyan değeri olan 6, Curry'nin asist sayılarının yarısı veya yaklaşık yarısı 6 veya daha az, diğer yarısı ise 6 veya daha fazla olduğunu göstermektedir. Asist ortalamasının 6,359 olması ise, Curry'nin maç başına ortalama olarak 6,359 asist yaptığı anlamına gelmektedir. Çarpıklık değeri 0,165, asist sayılarının hafifçe sağa çarpık bir dağılım sergilediği yanş daha yüksek asist sayılarının biraz daha sık gerçekleştiğini göstermektedir. Basıklık değeri -0,305 olup, asist sayılarının hafifçe basık bir dağılımı olduğunu işaret etmektedir. Bu durum, asistlerin genel olarak homojen bir şekilde dağıldığını ve belirli bir tepe noktasının olmadığını gösterir. Elde edilen istatistiklere göre, Curry'nin asist performansı ortalamadan biraz yüksek daha yüksektir. Çarpıklık değeri pozitif olduğundan, daha yüksek asist sayılarının biraz daha sık gerçekleştiği görülmektedir. Basıklık değeri ise negatif olduğundan, asistlerin genel olarak homojen bir şekilde dağıldığı ve belirli bir tepe noktasının olmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4. Oyuncunun Asist Sayılarına Ait Kutu Grafiği ve Histogram

Şekil 4'te oyuncunun asist sayılarına ait kutu grafiği ve histogram grafiği verilmiştir. Şekil 4'teki hafif sağa çarpık ve basıklık değerleri incelendiğinde asist sayılarının basık bir dağılıma sahip olduğu söylenebilir. Asist değerlerinde iki adet aykırı değer olabilecek değer mevcuttur.

Oyuncunun toplam sayı değerlerine ait temel istatistikleri incelendiğinde medyan 27, ortalama 27,06, basıklık 0,208 ve çarpıklık 0,175 bulunmuştur. Medyan değerine göre, Curry'nin toplam sayılarının yarısı veya yaklaşık yarısı 27 veya daha az, diğer yarısı ise 27 veya daha fazla olmuştur. Curry, maç başına ortalama olarak 27,06 sayı atmıştır. Basıklık değerine göre toplam sayıları, hafifçe sağa çarpık bir dağılım sergilemektedir. Bu durum, daha yüksek sayıların biraz daha sık gerçekleştiğini göstermektedir. Çarpıklık değeri 0,175 olduğundan oyuncunun toplam sayılarının, neredeyse simetrik bir dağılım gösterdiği söylenebilir. Bu, sayıların genel olarak dengeli bir şekilde dağıldığını ve eğimli bir tepe noktasının olmadığını gösterir. Bu istatistiklere göre, Curry'nin toplam sayı performansı ortalamaya yakın olduğu görülmektedir. Çarpıklık değeri pozitif olduğundan, daha yüksek sayıların biraz daha sık gerçekleştiği görülmektedir. Basıklık değeri ise oldukça düşük olduğundan, sayıların genel olarak dengeli bir şekilde dağıldığı ve belirli bir eğimli tepe noktasının olmadığı anlaşılmaktadır.



Şekil 5. Oyuncunun Toplam Maç Sayılarına Ait Kutu Grafiği ve Histogram

Şekil 5’te verilen kutu grafiği ve histogram incelendiğinde oyuncunun toplam maç sayısının sağa çarpık olduğu ve 4 adet aykırı gözlem olabilecek gözlem olduğu söylenebilir.

4. BULGULAR

Bu bölümde Stephen Curry’nin maç içi istatistiklerinin Markov zinciri ile analizi gerçekleştirilmiştir. Öncelikle oyuncunun üçlük sayılarına ait Markov zinciri durumların belirlenmesi sağlanmıştır. Sayıların bir önceki maça göre, artış (1), azalış (2) ve sabit (3) olarak tanımlanması ile oyuncunun bir önceki maça göre oyun yüzdeleri Tablo 1’deki gibi elde edilmiştir:

Tablo 1. Oyuncunun Üçlük Sayılarının Değişimi

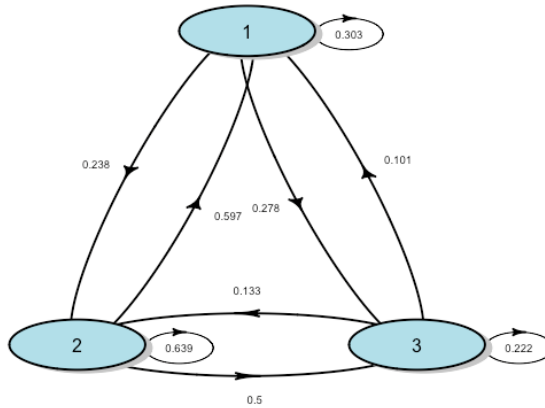
Artış (1)	%45,98
Azalış (2)	%40,23
Sabit (3)	%13,79

Tablo 1’e incelendiğinde, bir önceki maça göre oyuncunun üçlük sayılarında %45,98 oranında bir artış, %40,23 oranında bir azalış ve %13,79’ oranında ardışık iki maçı arasında değişim olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Tablo 2’de oyuncunun üçlük sayılarına ait tek-adım geçiş matrisi elde edilmiştir:

Tablo 2. Oyuncunun Üçlük Sayılarına Ait Tek-Adım Geçiş Matrisi (P)

	Artış	Azalış	Sabit
Artış	0,303	0,597	0,101
Azalış	0,238	0,639	0,133
Sabit	0,278	0,500	0,222

Şekil 6’da oyuncunu üçlük sayılarına ait tek-adım geçiş diyagramı gösterilmiştir:



Şekil 6. Üçlük Sayılarına Ait Tek-Adım Geçiş Diyagramı

Tablo 2 ve Şekil 6 incelendiğinde örneğin, oyuncunun üçlük sayısının azalışa geçtikten sonraki maçında tekrar azalışa geçme olasılığının %63,9 olduğu görülmektedir. Tablo 3’te oyuncunun üçlük yüzdelerinin değişimi verilmiştir:

Tablo 3. Oyuncunun Üçlük Yüzdelerinin Değişimi

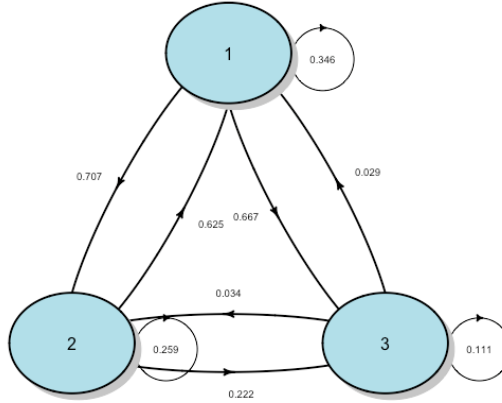
Artış (1)	%52,11
Azalış (2)	%44,44
Sabit (3)	%3,45

Tablo 3’e göre, üçlük yüzdesinin %52,11’inde artış, %44,44’ünde azalış ve %3,45’inde sabitlik gözlemlenmiştir. Tablo 4’te üçlük yüzdelere ait tek-adım geçiş matrisi verilmiştir:

Tablo 4. Oyuncunun Üçlük Yüzdelere Ait Tek-Adım Geçiş Matrisi

	Artış	Azalış	Sabit
Artış	0,346	0,625	0,029
Azalış	0,707	0,259	0,034
Sabit	0,667	0,222	0,111

Şekil 7’de oyuncunu üçlük yüzdelerine ait tek-adım geçiş diyagramı gösterilmiştir:



Şekil 7. Üçlük Yüzdelerine Ait Tek-Adım Geçiş Diyagramı

Şekil 7 ve Tablo 4 incelendiğinde örneğin, oyuncunun üçlük yüzdelerinin azalışa geçtikten bir maç sonra artışa geçme %70,7 ve yüzdelerinin sabit kaldıktan bir maç sonra yeniden sabit kalması olasılığı %11,7’dir. Tablo 5’te oyuncunun ribaund değişimi verilmiştir:

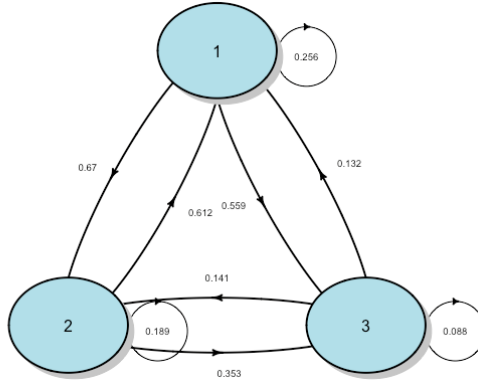
Tablo 5. Oyuncunun Ribaund Değişimi

Artış (1)	%46,36
Azalış (2)	%40,61
Sabit (3)	%13,03

Tablo 5 incelendiğinde ribaund sayısı verisinin %46,36’sında artış, %40,61’inde azalış, %13,03’ünde sabitlik gözlemlenmiştir. Tablo 6’da ribaund sayılarına ait tek-adım geçiş matrisi verilmiştir:

Tablo 6. Oyuncunun Ribaund Sayılarına Ait Tek-Adım Geçiş Matrisi

	Artış	Azalış	Sabit
Artış	0,256	0,612	0,132
Azalış	0,670	0,189	0,141
Sabit	0,559	0,353	0,088



Şekil 8. Ribaund Sayılarına Ait Tek-Adım Geçiş Diyagramı

Tablo 6 ve Şekil 8 incelendiğinde örneğin, oyuncunun ribaund sayısının azalışa geçtikten bir maç sonra artışa geçme olasılığı %67 ve artışa geçtikten bir maç sonra sabit kalması ihtimali %13,2'dir. Tablo 7'de oyuncunun asist sayılarındaki değişimi incelenmiştir:

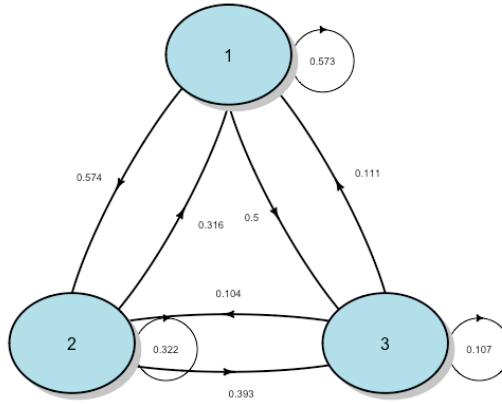
Tablo 7. Oyuncunun Asist Değişimi

Artış (1)	%44,83
Azalış (2)	%44,44
Sabit (3)	%10,73

Tablo 7 incelendiğinde oyuncunun asist sayılarında %44,83'ünde artış, %44,44'ünde azalış ve %10,73'ünde sabitlik gözlemlenmiştir. Tablo 8'de asist sayılarının tek-adım geçiş matrisi verilmiştir:

Tablo 8. Oyuncunun Asist Sayılarına Ait Tek-Adım Geçiş Matrisi

	Artış	Azalış	Sabit
Artış	0,573	0,316	0,111
Azalış	0,574	0,322	0,104
Sabit	0,500	0,393	0,107



Şekil 9. Asist Sayılarına Ait Tek-Adım Geçiş Diyagramı

Tablo 8 ve Şekil 9 incelendiğinde örneğin, asist sayısının azalışa geçtikten bir maç sonra tekrar azalışa geçme ihtimali %32,2 ve artışa geçtikten bir maç sonra sabit kalması ihtimali %11,1'dir. Tablo 9'da oyuncunun maç sayısının değişimi verilmiştir:

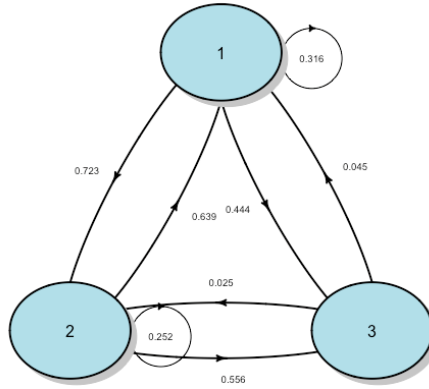
Tablo 9. Oyuncunun Maç Sayısının Değişimi

Artış (1)	%50,96
Azalış (2)	%45,59
Sabit (3)	%3,45

Tablo 9 incelendiğinde, toplam sayı değişkeninin %50,96'sında artış, %45,59'unda azalış ve %3,45'inde sabitlik gözlemlenmiştir. Tablo 10'da maç sayısının tek-adım geçiş matrisi verilmiştir:

Tablo 10. Oyuncunun Maç Sayılarına Ait Tek-Adım Geçiş Matrisi

	Artış	Azalış	Sabit
Artış	0,316	0,639	0,045
Azalış	0,723	0,252	0,025
Sabit	0,444	0,556	0,000



Şekil 10. Maç Sayılarına Ait Tek-Adım Geçiş Diyagramı

Tablo 10 ve Şekil 10 incelendiğinde örneğin, maç sayısının azalışa geçtikten bir maç sonra tekrar azalışa geçme ihtimali %25,2 ve artışa geçtikten bir maç sonra sabit kalması ihtimali %4,5'tir.

Tablo 2, 4, 6, 8 ve 10'da verilen bir adım geçiş olasılıkları incelendiğinde her bir Markov zincirinin kapalı küme, yutucu durum, periyodik durum içermediği için indirgenemez birer Markov zinciri olduğu söylenebilir. Bu nedenle, oyuncunun maç içi istatistik değerlerine ait Markov zincirlerinin her biri için denge dağılımı elde edilebilir. Denge dağılım eşitliğinden yararlanarak maç içi istatistiklere ait denge dağılımları Tablo 11'de elde edilmiştir:

Tablo 11. Maç İçi İstatistiklere Ait Denge Dağılımları

	Artış	Azalış	Sabit
Üçlük Sayısı	0,2862951	0,6702130	0,1505192
Üçlük Yüzdesi	0,2889468	0,6764204	0,1519133
Ribaund Sayısı	0,4636327	0,4064269	0,1299405
Asist Sayısı	0,5654217	0,3262955	0,1082828
Maç Sayısı	0,5070609	0,4586550	0,0342841

Tablo 11'deki denge dağılımları, Stephen Curry'nin maç içi istatistiklerinin uzun vadeli eğilimlerini yansıtmakta ve oyuncunun performansının zaman içinde nasıl değişebileceğini göstermektedir. Her bir istatistik kategorisi için "Artış", "Azalış" ve "Sabit" durumlarına ait olasılıklar, Curry'nin performans trendlerinin daha detaylı analizini sağlar. Özellikle, üçlük sayısı ve üçlük yüzdesi için "Azalış" olasılıkları (%67,02130 ve %67,64204) dikkat çekicidir. Bu, Curry'nin üçlük atışlarındaki performansının zamanla düşme eğiliminde olabileceğini işaret eder; ancak bu durum, yüksek başlangıç üçlük yüzdesi nedeniyle olabilir ve yüksek bir seviyeden başlayan performansın doğal bir düşüşünü temsil edebilir. Ribaund sayılarında ise artış (%46,36327) ve azalış (%40,64269) olasılıkları birbirine oldukça yakındır, bu da Curry'nin ribaund performansının dalgalanabileceğini gösterir, ancak genel olarak bir artış eğilimi gözlenmektedir.

Asist sayılarında gözlemlenen yüksek "Artış" olasılığı (%56,54217), Curry'nin zaman içinde daha fazla asist yapma eğiliminde olduğunu ve oyun kurucu yeteneklerinin gelişmekte olduğunu işaret eder. Bu durum, onun takım içindeki rolünün ve etkileşiminin arttığını gösterir. Maç sayısının dağılımında ise "Artış" ve "Azalış" arasında neredeyse denge olduğu gözlemlenir (%50,70609'a karşı %45,8655), bu da Curry'nin sahada tutarlı bir performans sergileme kapasitesine sahip olduğunu belirtir. Bu denge dağılımları, teknik direktörler ve spor analistleri için Curry'nin performansının gelecekte nasıl şekillenebileceğine dair değerli bilgiler sunar. Bu bilgiler, antrenman ve maç stratejilerinin planlanmasında, oyuncunun güçlü yönlerini desteklemek ve potansiyel zayıflıkları geliştirmek için kullanılabilir.

Çalışmada elde edilen denge dağılımları, oyuncunun uzun vadede hangi performans eğiliminde olacağını gösterdiğinden, antrenman ve maç stratejilerinde doğrudan kullanılabilir. Örneğin, Curry'nin üçlük yüzdesinde gözlenen %67 oranında azalış eğilimi, koçlara oyuncunun yoğun maç periyotlarında şut etkinliğinin düşebileceği bilgisini sunmakta ve bu durumda daha fazla asist rolüne kaydırılması uygun bir strateji olabilir. Asistlerde görülen %56,5 artış eğilimi, Curry'nin oyun kurucu olarak daha fazla sorumluluk üstlenebileceğini gösterirken; ribaundlarda görülen dalgalanmalar, bireysel ribaund çalışmaları ve savunma setleri ile desteklenmesi gerektiğine işaret etmektedir. Böylece, denge dağılımları koçlara, oyuncu rotasyonlarının düzenlenmesi, antrenman önceliklerinin belirlenmesi ve maç içi rollerin optimize edilmesi için somut senaryolar sunmaktadır.

Markov zincirleri ile elde edilen denge dağılımları, Stephen Curry'nin uzun vadeli performans eğilimlerini ortaya koymaktadır. Özellikle üçlük sayısı ve üçlük yüzdesinde gözlenen azalış eğilimleri, oyuncunun dış şut performansının dönemsel dalgalanmalara açık olduğunu göstermektedir. Bu bulgu, antrenman planlamasında şut seçimi, kondisyon ve tekrar çalışmaları üzerinde odaklanmayı gerekli kılar. Örneğin, antrenörler Curry'nin zor şut tercihlerini azaltacak ve daha yüksek isabet yüzdesiyle sonuçlanacak hücum setleri tasarlayabilirler. Asistlerde gözlenen yüksek artış eğilimi, Curry'nin oyun kurucu rolünü daha da güçlendirdiğini göstermektedir. Bu bilgi, takım stratejisinde Curry'nin yalnızca bir skorlar olarak değil, oyun yönlendirici rolünde de kullanılabileceğini işaret etmektedir. Dolayısıyla, antrenmanlarda pas trafiği, perdeleme ve saha görüşü odaklı çalışmaların artırılması, hem oyuncunun hem de takımın verimliliğini yükseltebilir.

Ribaund performansındaki denge ise Curry'nin zaman zaman bu alanda katkı sağladığını, fakat istikrarsızlıklar yaşadığını ortaya koymaktadır. Bu nedenle, bireysel ribaund tekniklerinin geliştirilmesi, fiziksel dayanıklılığı artıracak özel programlar ve takım içi ribaund paylaşımına yönelik setler planlanabilir. Sonuç olarak, Markov zinciri bulguları antrenör ve analistlere, Curry'nin güçlü yönlerini (oyun kuruculuk, yüksek üçlük potansiyeli) destekleyerek, potansiyel zayıflıklarını (şut yüzdesindeki dalgalanmalar, ribaund istikrarsızlığı) geliştirmeye yönelik hedefli bir strateji izleme olanağı sunmaktadır. Bu doğrultuda, veri temelli antrenman planlaması ve oyuncu rol dağılımlarının yeniden tanımlanması, Curry'nin performansını artırmaya katkı sağlayacaktır.

Markov zinciri analizi sonuçları Stephen Curry'nin performansına dair önemli ipuçları sunmaktadır. Özellikle asist sayılarında gözlenen %56,5 oranındaki artış eğilimi,

oyuncunun oyun kurucu yönünün gelişmekte olduğunu ve takıma yalnızca skor katkısıyla değil, hücum organizasyonlarını yönlendirmesiyle de değer kattığını göstermektedir. Öte yandan üçlük sayısı ve yüzdesinde uzun vadede yaklaşık %67 oranında azalış olasılığı bulunması, şut performansında dönemsel dalgalanmalara işaret etmektedir; bu durum, şut seçimi ve rotasyon stratejilerinin koçlar tarafından yeniden düzenlenmesini gerekli kılmaktadır. Ribaund performansında ise %46,3 artış – %40,6 azalış dengesinin görülmesi, Curry'nin zaman zaman bu alanda katkı sağladığını ancak istikrarsızlık yaşadığını göstermektedir. Dolayısıyla, Curry'nin güçlü yönlerinin (asist ve oyun kuruculuk) desteklenmesi, şut performansındaki dalgalanmaların özel antrenman programlarıyla dengelenmesi ve ribaund katkısının artırılmasına yönelik çalışmalar yapılması önerilmektedir.

Bu çalışmada Stephen Curry'nin performansına ilişkin Markov zinciri temelli analiz bulguları, literatürde farklı basketbol oyuncuları üzerinde yapılan benzer çalışmaların sonuçlarıyla paralellik göstermektedir. Örneğin, Sandri ve ark. (2020) bireysel şut performansındaki dalgalanmaları Markov switching modelleri ile incelemiş ve oyuncuların maç içi performanslarının süreklilik arz etmediğini, dönemsel değişimlere açık olduğunu ortaya koymuştur. Benzer şekilde Calvo ve ark. (2023), “hot hand” olgusunu gizli Markov modelleriyle analiz etmiş ve şut yüzdesinde ardışık maçlar arasında istatistiksel dalgalanmaların gözlemlendiğini rapor etmiştir. Bizim çalışmamızda da Curry'nin üçlük sayısı ve yüzdesinde dalgalanmaların varlığı, bu sonuçlarla tutarlıdır. Öte yandan, Kolias ve ark. (2021) basketbolcu rotasyonlarının hücum ve savunma performansları üzerindeki uzun vadeli etkilerini Markov zinciri ile değerlendirerek, oyuncuların yalnızca bireysel skor katkılarıyla değil, oyun kurucu yönleriyle de takım verimliliğine katkı sunduğunu göstermiştir. Curry'nin asist sayılarındaki artış eğilimi de bu literatür bulgularını desteklemektedir. Dolayısıyla, mevcut çalışma, hem Curry özelinde hem de genel basketbol literatürü bağlamında, Markov zincirlerinin oyuncu performansındaki güçlü ve zayıf yönleri ortaya koymada etkin bir araç olduğunu göstermektedir.

Bu çalışma, spor alanında Markov zinciri yönteminin kullanılabilirliğini doğrudan göstererek literatüre yöntemsel bir katkı sunmaktadır. Stephen Curry örneği üzerinden gerçekleştirilen analizler, oyuncu performansının yalnızca geçmiş verilere dayalı betimlenmesiyle sınırlı kalmayıp, denge dağılımları aracılığıyla uzun vadeli performans eğilimlerini öngörme imkânı sağlamaktadır. Böylece, basketbol istatistikleri alanında Markov zincirinin uygulanabilirliği açıkça ortaya konulmuş ve koçlar ile spor analistlerine, oyuncuların güçlü yönlerini destekleyip zayıf yönlerini geliştirmeye yönelik veri temelli bir karar verme modeli sunulmuştur.

5. SONUÇ

Basketbol oyunundaki olayların araştırılması, doğrulanması ve değerlendirilmesi, spor bilimleri için gereklidir. Basketbol oyununu analiz etmek için Markov zinciri kullanılabilir. Basketbol oyununda, farklı oyun durumları arasında geçişler sürekli olarak gerçekleşir. Örneğin, bir takım hücumdayken, topun kaybedilmesi veya sayı atılması gibi durumlarla karşılaşılabilir. Bu geçişlerin olasılıklarını ve bu geçişlerin bir sonraki oyun durumunu nasıl etkilediğini belirlemek için Markov zinciri kullanılabilir. Markov zinciri analizi, basketbol takımlarının oyun stratejilerini, oyuncu rotasyonlarını, hücum ve savunma taktiklerini değerlendirmek için kullanılabilir.

Örneğin, bir takımın hücumda daha etkili olduğu oyun durumlarını belirlemek veya savunmada hangi durumların zayıf olduğunu tespit etmek için Markov zinciri analizi yapılabilir.

Markov zinciri aynı zamanda oyuncu performansını da değerlendirmek için kullanılabilir. Bir oyuncunun farklı oyun durumlarında ne kadar etkili olduğunu, top kaybetme veya sayı atma olasılıklarını belirlemek için Markov zinciri kullanılabilir. Böylece, bir oyuncunun takıma nasıl katkı sağladığı ve hangi durumlarda daha iyi performans gösterdiği anlaşılabilir. Basketbol markov zinciri analizi, oyunda meydana gelen geçişlerin istatistiksel olarak modellenmesine ve değerlendirilmesine yardımcı olur. Bu analiz, takım performansını, oyuncu performansını ve oyun stratejilerini anlamak için kullanılabilir ve antrenörlerin, oyuncuların ve analistlerin kararlarını destekleyebilir.

Bu çalışmada, Amerikalı profesyonel bir basketbol oyuncusu olan Stephen Curry'nin maç içi spor istatistik değerleri Markov zincirleri yardımıyla incelenmiştir. Golden State Warriors takımında forma giyen Curry, oyun stiline ve üçlük atışlarındaki becerisine odaklanan bir oyuncu olarak tanınmaktadır. Stephen Curry, oyun stili, şut yetenekleri ve liderlik becerileriyle basketbolun en etkileyici ve tanınmış oyuncularından biridir. Bu nedenle, maç istatistiklerinin tahmininin spor araştırmaları açısından örnek bir çalışma olabileceği düşünülmüştür. Stephen Curry'nin üçlük sayısı ve yüzdesinde gözlenen dalgalanmalar, oyuncunun dış şut performansının dönemsel olarak düşebileceğini göstermektedir. Bu durum, antrenman planlamasında şut seçimi ve dayanıklılık çalışmalarının öne çıkarılması gerektiğine işaret eder. Ayrıca, koçların Curry'yi uzun maç serilerinde daha yüksek isabetli şut pozisyonlarına sokacak set oyunları tasarlamaları, performans verimliliğini artırabilir. Asistlerde gözlenen artış eğilimi, Curry'nin oyun kurucu yönünün güçlendiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgu, koçların hücum stratejilerinde Curry'yi yalnızca bir skorlar olarak değil, aynı zamanda oyun yönlendirici olarak kullanmalarına olanak tanır. Özellikle perdeleme ve hızlı pas organizasyonlarının artırılması, hem Curry'nin asist sayısını yükseltecek hem de takımın hücum çeşitliliğini zenginleştirecektir. Ribaund performansında görülen dengesizlik ise, Curry'nin bu alanda zaman zaman katkı verse de istikrarsız olabileceğini göstermektedir. Bu bağlamda, savunma ribaundlarında daha agresif pozisyon alması ve hücum ribaundlarında doğru zamanlama üzerine yoğunlaşması, takım savunma-hücum dengesini güçlendirebilir.

Stephen Curry'nin 2015–2018 sezonlarına ait istatistikleri, lig ortalamalarıyla kıyaslandığında dikkat çekici farklılıklar göstermektedir. Örneğin, NBA'de üçlük yüzdesi ortalaması bu dönemlerde %35–36 civarında iken, Curry'nin üçlük yüzdesi ortalama %41,6 olarak elde edilmiştir. Benzer şekilde, maç başına üçlük sayısı lig ortalaması 2,1 iken, Curry'nin ortalama değeri 4,46 olup lig ortalamasının yaklaşık iki katıdır. Bu durum, Markov zinciri analizi ile elde edilen üçlük performansındaki dalgalanmalara rağmen, Curry'nin lig ortalamasının belirgin biçimde üzerinde bir dış şut katkısı sunduğunu göstermektedir. Asist değerleri açısından bakıldığında, Curry'nin maç başına 6,36 asist ortalaması, oyun kurucu pozisyonundaki diğer elit oyuncularla (ör. Chris Paul: 7,9; Russell Westbrook: 9,3) kıyaslandığında daha düşük olsa da, üçlük tehdidi sayesinde yarattığı alan açma özelliğiyle asist katkısını dengede tutmaktadır. Ribaund ortalaması ise 5,17 olup, guard pozisyonundaki lig ortalaması olan 3,8–4,0'ın üzerindedir. Bu da Curry'nin pozisyonuna göre ribaund katkısının tatmin edici düzeyde

olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, elde edilen bulgular Curry'nin bazı istatistiklerde (özellikle üçlük isabeti) lig ortalamasının çok üzerinde, bazı alanlarda (asist) ise elit oyun kurucuların biraz gerisinde olduğunu ortaya koymaktadır. Bu karşılaştırmalar, Markov zinciri ile ulaşılan uzun vadeli performans eğilimlerinin, yalnızca oyuncunun bireysel gelişimi açısından değil, lig dinamikleriyle kıyaslandığında da stratejik açıdan anlamlı olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmanın en önemli sınırlılığı, yalnızca Stephen Curry'nin 2015–2018 sezonlarına ait verilerle sınırlı olmasıdır. Dolayısıyla elde edilen sonuçlar, oyuncunun farklı dönemlerdeki performans değişimlerini veya diğer oyuncularla kıyaslamaları tam olarak yansıtmamaktadır. Ayrıca, analiz yalnızca temel maç içi istatistiklerle (üçlük, asist, ribaund, toplam sayı) yapılmış olup, savunma istatistikleri veya ileri performans metrikleri (ör. PER, +/- istatistikleri) çalışmaya dâhil edilmemiştir. Gelecekte yapılacak araştırmalarda, farklı pozisyonlardaki oyuncuların karşılaştırmalı analizleri, daha geniş zaman aralıklarını kapsayan veri setleri ve makine öğrenmesi gibi alternatif yöntemlerle desteklenen Markov zinciri modelleri kullanılarak basketbol performans analizlerinin daha kapsamlı hale getirilebilir.

Yazarların Katkısı

Makalede kullanılan verilerin elde edilmesinde Alihan Demirci, verilerin analizinde ve yorumlanmasında Gamze Özel, Alihan Demirci ve Hatice Nur Karakavak, makalenin yazımında Gamze Özel ve Hatice Nur Karakavak katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

KAYNAKÇA

- ApSimon, H. G. (1957). 2697. Squash Chances. *The Mathematical Gazette*, 41(336), 136-137.
- Attard, P., Suda, D., & Sammut, F. (2023). Bayesian hierarchical modelling of basketball team performance: an NBA regular season case study.
- Bellman, R. (1977). Dynamic programming and Markovian decision processes with application to baseball. *Optimal strategies in sports*.
- Briz-Redón, Á. (2024). A doubly self-exciting poisson model for describing scoring levels in nba basketball. *Journal of the Royal Statistical Society Series C: Applied Statistics*, 73(3), 735-754.
- Bunker, R. P., & Thabtah, F. (2019). A machine learning framework for sport result prediction. *Applied computing and informatics*, 15(1), 27-33.

- Calvo, G., Armero, C., & Spezia, L. (2023). A Bayesian hidden Markov model for assessing the hot hand phenomenon in basketball shooting performance. arXiv preprint arXiv:2303.17863.
- Clarke, S. R. (1979). Tie point strategy in American and international squash and badminton. *Research Quarterly. American Alliance for Health, Physical Education, Recreation and Dance*, 50(4), 729-734.
- Clarke, S. R., & Norman, J. M. (1979). Comparison of North American and international squash scoring systems—analytical results. *Research Quarterly. American Alliance for Health, Physical Education, Recreation and Dance*, 50(4), 723-728.
- Clarke, S. R., & Norman, J. M. (1998). Dynamic programming in cricket: protecting the weaker batsman. *Asia Pacific Journal of Operational Research*, 15, 93-108.
- Croucher, J. S. (1982). The effect of the tennis tie-breaker. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 53(4), 336-339.
- Croucher, J. S. (1986). The conditional probability of winning games of tennis. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 57(1), 23-26.
- Çınlar, E. (1977). Shock and wear models and Markov additive processes. In *The theory and applications of reliability with emphasis on Bayesian and nonparametric methods* (pp. 193-214). Academic Press.
- Flatz, A., Loper, M. C., & Weyer, L. (2025). First is the worst, second is the best? A Markov chain analysis of the basketball game knockout. arXiv preprint arXiv:2505.16842.
- Hernández Moreno, J. (1987). Estudio sobre el análisis de la acción de juego en los deportes de equipo: Su aplicación al baloncesto.
- Heuer, A., & Rubner, O. (2012). How does the past of a soccer match influence its future? *Concepts and statistical analysis. PloS one*, 7(11), e47678.
- Hirotsu, N., & Wright, M. (2003). A Markov chain approach to optimal pinch hitting strategies in a designated hitter rule baseball game. *Journal of the Operations Research Society of Japan*, 46(3), 353-371.
- Kayran, A. H., Yücel, M. N., Çölkesen, R., & Uğurkaya, C. (2014). Olasılık teorisi ve stokastik süreçler. Papatya Yayıncılık.
- Kolias, P., Stavropoulos, N., Papadopoulou, A., & Kostakidis, T. (2022). Evaluating basketball player's rotation line-ups performance via statistical markov chain modelling. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 17(1), 178-188.

- Lapham, A. C., & Bartlett, R. M. (1995). The use of artificial intelligence in the analysis of sports performance: A review of applications in human gait analysis and future directions for sports biomechanics. *Journal of Sports Sciences*, 13(3), 229-237.
- Lees, A. (2002). Technique analysis in sports: a critical review. *Journal of sports sciences*, 20(10), 813-828.
- McGarry, T., Anderson, D. I., Wallace, S. A., Hughes, M. D., & Franks, I. M. (2002). Sport competition as a dynamical self-organizing system. *Journal of sports sciences*, 20(10), 771-781.
- McGarry, T., & Franks, I. M. (1994). A stochastic approach to predicting competition squash match-play. *Journal of sports sciences*, 12(6), 573-584.
- McGarry, T., & Franks, I. M. (1996a). In search of invariant athletic behaviour in sport: An example from championship squash match-play. *Journal of sports sciences*, 14(5), 445-456.
- McGarry, T., & Franks, I. M. (1996). Development, application, and limitation of a stochastic Markov model in explaining championship squash performance. *Research quarterly for exercise and sport*, 67(4), 406-415.
- Morris, C. (1977). The most important points in tennis. *Optimal strategies in sport*, 131-140.
- Norman, J. M. (1999). Markov process applications in sport. In IFORS conference. Beijing, China (Vol. 50, pp. 536-545).
- Ouyang, Y., Li, X., Zhou, W., Hong, W., Zheng, W., Qi, F., & Peng, L. (2024). Integration of machine learning XGBoost and SHAP models for NBA game outcome prediction and quantitative analysis methodology. *Plos one*, 19(7), e0307478.
- Özel Kadılar, G. (2023). Stokastik Süreçler ve R Uygulamaları.
- Papageorgiou, G., Sarlis, V., & Tjortjis, C. (2025). An innovative method for accurate NBA player performance forecasting and line-up optimization in daily fantasy sports. *International Journal of Data Science and Analytics*, 20(2), 1215-1238.
- Pfeifer, P. E., & Deutsch, S. J. (1981). A probabilistic model for evaluation of volleyball scoring systems. *Research quarterly for exercise and sport*, 52(3), 330-338.
- Pollard, G. H. (1985). A statistical investigation of squash. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 56(2), 144-150.
- Pollard, G. H. (1987). A new tennis scoring system. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 58(3), 229-233.

- Prais, S. J. (1955). Measuring social mobility. *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)*, 118(1), 56-66.
- Reis, M., & Dotal, H. (2016). Determining hydrological drought probability in future using markov chain model for Kahramanmaraş city.
- Renick, J. (1977). Tie point strategy in badminton and international squash. *Research Quarterly. American Alliance for Health, Physical Education and Recreation*, 48(2), 492-498.
- Sandholtz, N., & Bornn, L. (2020). Markov decision processes with dynamic transition probabilities: An analysis of shooting strategies in basketball.
- Sandri, M., Zuccolotto, P., & Manisera, M. (2020). Markov switching modelling of shooting performance variability and teammate interactions in basketball. *Journal of the Royal Statistical Society Series C: Applied Statistics*, 69(5), 1337-1356.
- Schutz, R. W. (1970). A mathematical model for evaluating scoring systems with specific reference to tennis. *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 41(4), 552-561.
- Schutz, R. W., & Kinsey, W. J. (1977). Comparison of North American and international squash scoring systems—a computer simulation. *Research Quarterly. American Alliance for Health, Physical Education and Recreation*, 48(1), 248-251.
- Simon, H. A. (1951). 2226. The luck of the toss in squash rackets. *The Mathematical Gazette*, 35(313), 193-194.
- Trninić, S., Karalejić, M., Jakovljević, S., & Jelaska, I. (2010a). Structural analysis of knowledge based on principal attributes of the game of basketball. *Fizička kultura*, 64(1), 5-25.
- Trninić, S., Karalejić, M., Jakovljević, S., & Jelaska, I. (2010b). Structural analysis of knowledge based on specific attributes of the game of basketball. *Fizička kultura*, 64(2), 22-41.
- Trninić, S., Milanović, D., Blašković, M., Birkić, Ž., & Dizdar, D. (1995). The influence of defensive and offensive rebounds on the final score in a basketball game. *Kinesiology*, 27(2), 44-49.
- Trninić, S., Perica, A., & Pavičić, L. (1994). Analysis of states in basketball game. *Kinesiology*, 26(1-2), 27-32.
- Trueman, R. E. (1977). Analysis of baseball as a Markov process. *Optimal Strategies in Sports*.
- Wright, M. B. (1988). Probabilities and decision rules for the game of squash rackets. *Journal of the Operational Research Society*, 39, 91-99.