

SAĞLIKTA KANITA DAYALI UYGULAMALAR



BAŞ EDITÖR

Prof. Dr. Fatma ÇELİK KAYAPINAR

YARDIMCI EDITÖRLER

Doktorant Müge COŞĞUN
Doktorant İlayda KAYAPINAR



SAĞLIKTA KANITA DAYALI UYGULAMALAR

Baş Editör

Prof. Dr. Fatma ÇELİK KAYAPINAR

Yardımcı Editörler

Doktorant Müge COŞĞUN

Doktorant İlayda KAYAPINAR



Sağlıkta Kanıta Dayalı Uygulamalar

Baş Editör: Prof. Dr. Fatma ÇELİK KAYAPINAR

Yardımcı Editörler: Doktorant Müge COŞĞUN,

Doktorant İlayda KAYAPINAR

Genel Yayın Yönetmeni: Berkan Balpetek

Sayfa ve Kapak Tasarımı: Duvar DESIGN

Basım Tarihi: Temmuz 2026

Yayıncı Sertifika No: 49837

ISBN: 978-625-8936-23-0

© Duvar Yayınları

853 Sokak No:13 P.10 Kemeraltı-Konak/İzmir

Tel: 0 232 484 88 68

www.duvar yayinlari.com

duvarkitabevi@gmail.com

İÇİNDEKİLER

1. Bölüm	1
Electrodermal Activity as a Psychophysiological Indicator in Psychiatric Disorders Ali Yücel KARA	
2. Bölüm	19
İnmeli Bireylerde Üst Ekstremitte Fonksiyonları ve El Becerisini Etkileyen Faktörler Nazlı GÜNGÖR EROĞLU, Aref Najafi BISAFAR, Fatemeh ZAHEDI	
3. Bölüm	29
Yapay Zekâ Tabanlı Mikrodosimetri Analizlerinde Recurrent Neural Network (RNN) Modeli Kullanımı Fatma Buket HİZARCI	
4. Bölüm	55
Yaşlılarda Sarkopeninin Önlenmesinde Çeşitli Besin Takviyelerinin Kullanımı Tutku BALCI, Dilek ONGAN	
5. Bölüm	73
Yüksekte Çalışmalarda İş Sağlığı ve Güvenliğinin Değerlendirilmesi: Uşak İli Örneği Sümeyra ATİLA, Pınar ÇAVDAR	
6. Bölüm	92
Türkiye'de Spor ve Sağlık Alanında Toplumsal Katkı Projeleri: Bir Kapsam Belirleme Derlemesi Fatma ÇELİK KAYAPINAR, Perihan DİKER	
7. Bölüm	112
Otizm Spektrum Bozukluğu Olan Bireylerde Fiziksel Aktivite ve Egzersiz Uygulamaları Hatice ÇABUK, Fatma ÇELİK KAYAPINAR	

1. Bölüm

Electrodermal Activity as a Psychophysiological Indicator in Psychiatric Disorders¹

Ali Yücel KARA^{2*}

ABSTRACT

Electrodermal activity (EDA) provides a non-invasive index of sympathetic cholinergic sudomotor activity and has long been used to examine arousal, orienting, habituation, and responsivity. This chapter reviews its physiological basis, measurement principles, and evidence across mood disorders and suicidality, anxiety and trauma-related disorders, schizophrenia-spectrum disorders, and substance use and behavioural addictions. Across these conditions, electrodermal findings are heterogeneous. Both heightened and reduced tonic or phasic activity have been reported, and results vary with clinical state, medication, comorbidity, task design, recording site, environmental conditions, movement, and preprocessing. Laboratory paradigms can isolate stimulus-linked responses, whereas wearable devices extend observation into daily life; however, naturalistic monitoring introduces additional problems involving sensor contact, thermoregulation, missing data, contextual ambiguity, and device comparability. The literature supports EDA as a sensitive but nonspecific psychophysiological measure. Group-level associations do not establish individual diagnosis, prognosis, relapse prediction, treatment response, or suicide risk. At present, EDA is best used as an adjunctive research measure, particularly in repeated within-person and multimodal designs that integrate symptom reports, ecological momentary assessment, activity, temperature, sleep, and cardiovascular or respiratory signals. Clinical translation will require standardised methods, transparent preprocessing, participant-level and external validation, calibrated models, and evidence that EDA-supported monitoring improves patient outcomes.

Keywords: electrodermal activity, skin conductance, psychophysiology, psychiatric disorders, wearable sensors, autonomic nervous system, mental health monitoring

¹ This chapter was presented at the 5th International Health Sciences Student Congress (SAGOK 2026) and published as an abstract.

² Assistant Professor, Department of Physiology, Faculty of Medicine, Izmir Katip Celebi University, Izmir, Türkiye, ORCID ID: 0000-0003-3119-8542, aliyucel.kara@ikcu.edu.tr

*Corresponding author

1. INTRODUCTION

Psychiatric assessment is grounded in clinical interviews, observed behaviour, functional change, and patients' descriptions of their experiences. These sources remain indispensable, but psychophysiological measures can add information about bodily responses under controlled or naturalistic conditions. Electrodermal activity (EDA) is one of the most established methods used for this purpose. Interest in the technique has grown again as ambulatory recording has become more accessible.

EDA is a collective term for electrical phenomena arising from the skin and its appendages. In most contemporary applications, it is assessed through skin conductance and described in terms of tonic activity and phasic responses (Boucsein, 2012). These changes are closely linked to eccrine sweat-gland activity under sympathetic cholinergic control, making EDA an indirect indicator of sudomotor activation and autonomic responsivity. Skin properties, electrode contact, recording site, environmental conditions, movement, and signal processing also shape the recorded signal (Tronstad et al., 2022).

This distinction matters in psychiatric research. Electrodermal changes may accompany arousal, orienting, attention, cognitive demand, stress, and responses to salient or aversive events. Yet the same pattern may arise in different psychological contexts, and people exposed to the same condition may differ markedly in tonic activity, phasic responsivity, habituation, or nonspecific responding. EDA is sensitive to psychophysiological variation, but it is not specific to a particular emotion, diagnosis, prognosis, or treatment decision (Boucsein, 2012; Tronstad et al., 2022). Its meaning depends on the task, the individual, and the recording context. Group differences also cannot be assumed to predict individual outcomes.

Wearable technologies extend EDA recording beyond the laboratory and allow it to be combined with movement, temperature, cardiovascular, respiratory, and contextual information. This wider coverage may improve ecological relevance, but it also increases exposure to motion artefacts, variable skin contact, environmental influences, recording-site differences, and missing data. Standardised acquisition, transparent preprocessing, appropriate signal decomposition, and careful modelling remain essential for reproducible interpretation (Tronstad et al., 2022).

This chapter first reviews the physiological basis, terminology, and methodological principles of EDA. It then examines evidence from mood disorders and suicidality, anxiety and trauma-related conditions, schizophrenia-spectrum disorders, and addictive behaviours. The scope is selective rather than exhaustive. It then considers limitations, practical implications, and priorities for

future research. Throughout, the central questions are whether observed associations support individual prediction and when EDA may complement—rather than replace—clinical assessment.

2. Basic Concepts and Current Literature

2.1. Physiological Foundations and Core Terminology

Electrodermal activity (EDA) is the preferred umbrella term for electrical phenomena arising from the skin and its appendages. The older expression galvanic skin response is potentially ambiguous because it has been used for both transient responses and EDA more broadly (Boucsein, 2012). Contemporary psychophysiology most often measures skin conductance, although skin potential, resistance, impedance, and admittance are also recognised electrodermal variables.

EDA primarily reflects eccrine sweat-gland activity. These glands are especially dense in palmar and plantar skin and are innervated by sympathetic cholinergic sudomotor fibres. Sweat entering the ducts creates ionic pathways through the highly resistive epidermis and increases conductance. The signal is therefore an indirect index of sympathetic sudomotor activation rather than a direct measure of central neural activity. It also reflects sweat-duct filling, stratum-corneum hydration, electrode contact, and instrumentation (Kara et al., 2026; Tronstad et al., 2022).

EDA can be recorded using endosomatic or exosomatic methods. Constant-voltage skin-conductance measurement is the most common contemporary approach because it is comparatively simple and produces readily quantifiable signals (Boucsein et al., 2012; Tronstad et al., 2022).

The signal is conventionally separated into tonic and phasic components. Skin conductance level (SCL) denotes the slowly varying background level, whereas a skin conductance response (SCR) is a relatively rapid transient increase associated with a sudomotor burst. SCRs may be characterised by onset, amplitude, latency, rise time, and recovery. Responses occurring within a predefined interval after an event are treated as stimulus-related; similar responses without an identifiable external trigger are termed nonspecific SCRs. These classifications depend on response windows, amplitude thresholds, and recording quality (Boucsein et al., 2012).

EDA is also used to examine orienting and habituation. Novel or significant stimuli commonly evoke a phasic orienting response that diminishes with repetition. Habituation may be quantified from response slopes, trial blocks, or the number of trials required to meet a nonresponse criterion. These indices are

not interchangeable, and conclusions may change with the selected threshold and the noise level of the recording system (Boucsein, 2012; Boucsein et al., 2012).

2.2. Measurement, Sources of Variation, and Interpretation

Recording site materially affects EDA. Palmar and plantar regions generally yield the strongest psychophysiological responses because of their dense eccrine innervation. Wrist, forearm, forehead, neck, and other sites may differ in amplitude, temporal pattern, and sensitivity to thermoregulatory sweating. Finger and foot recordings showed the closest agreement in one small experimental comparison, but the sample and movement tasks do not establish equivalence across ambulatory settings (Hossain et al., 2022). Demographic and skin-related characteristics may add further between-person variation.

Electrode material, contact area, attachment pressure, skin hydration, and stabilisation time influence both SCL and SCR. Ag/AgCl electrodes with an EDA-appropriate electrolyte remain a standard laboratory choice. Dry electrodes may improve comfort during prolonged monitoring, although contact can be unstable before sufficient moisture accumulates and may change with pressure or movement. Temperature, humidity, speech, and respiration introduce additional variation through technical disturbance, genuine sudomotor activation, or both. Concurrent accelerometry, temperature measurement, behavioural markers, and time-locked self-reports are therefore particularly useful in ambulatory studies (Boucsein et al., 2012; Tronstad et al., 2022).

Medication deserves particular attention in psychiatric research. Prescription and non-prescription agents may alter skin conductance directly through peripheral mechanisms, including anticholinergic effects, or indirectly through changes in cognition, sleep, emotion, and arousal. Names, doses, and timing relative to recording should be documented. Withholding prescribed treatment is not a neutral methodological solution, because withdrawal, rebound, or clinical deterioration may introduce additional bias (Boucsein et al., 2012).

Preprocessing is not a neutral technical step. Filtering, artefact handling, baseline definition, missing-data rules, response windows, amplitude thresholds, and tonic–phasic decomposition can all change derived variables. A raw interval mean, for example, may combine SCL with accumulated SCRs rather than represent pure tonic activity. In a comparison of seven SCR quantification approaches applied to the same two datasets, numerical estimates and effect sizes varied, and no approach was consistently superior across paradigms (Kuhn et al., 2022). Reports should specify acquisition conditions, processing decisions, exclusions, software settings, and operational definitions. Sensitivity analyses are

especially valuable when responder classifications depend on thresholds or scoring rules.

Wearable and multimodal systems make longer naturalistic recordings possible alongside movement, temperature, cardiovascular, respiratory, and contextual data. They broaden the questions that can be asked, but they do not solve problems of standardisation, artefact control, reproducibility, privacy, or data governance (Kara et al., 2026; Tronstad et al., 2022). In practice, EDA is informative only when the measured component and recording context are clear. A conductance change alone cannot establish emotional valence, a particular mental state, or a psychiatric diagnosis.

3. Electrodermal Activity in Psychiatric Disorders

3.1. Mood Disorders, Bipolar Disorder, and Suicidality

Electrodermal findings in mood disorders have often been summarised as evidence of reduced autonomic responsivity, particularly during depressive states. A systematic review of 77 studies identified lower tonic activity, smaller or delayed stimulus-evoked responses, and rapid habituation among the most frequent findings (Sarchiapone et al., 2018). The underlying literature was heterogeneous, often based on small older samples, and unsuitable for quantitative synthesis; null and opposing results were also reported. Electrodermal hyporeactivity is therefore best viewed as a recurring group-level pattern under some experimental conditions, not as an established depressive phenotype.

Recent task-based evidence shows why context matters. Wlad et al. (2025) compared patients with an ongoing depressive episode with healthy controls during anticipation and viewing of positive and negative images. Controls showed stronger responses during both positive and negative anticipation, whereas patients reacted more strongly to negative pictures; no group difference emerged for positive pictures. The pattern was task-specific: anticipatory blunting and heightened aversive reactivity occurred within the same clinical group. The main EDA analysis nevertheless included only 22 patients and 13 controls after signal-quality exclusions. Most patients received psychotropic medication, three had bipolar depression, psychiatric comorbidity was present, and the paradigm lacked a neutral condition.

Naturalistic recordings offer a different view. In a four-week study of 237 community participants using a dorsal-wrist smartwatch, McDuff et al. (2025) found higher tonic EDA among those with elevated depressive symptoms, particularly in the early morning, despite similar step counts. This need not contradict laboratory hyporeactivity: short palmar stimulus-evoked responses and

prolonged dorsal-wrist tonic activity capture different physiological, thermoregulatory, and contextual influences. The sample was defined by symptom scores rather than clinical diagnosis, depression and anxiety overlapped substantially, and the sensor was inactive during detected sleep. The study shows that free-living tonic EDA may covary with symptom burden, but it does not establish a depression-specific digital biomarker. Because the device manufacturer was closely involved, independent replication remains important.

Bipolar disorder adds further complexity because autonomic patterns may vary across depressive, manic, and euthymic states. Anmella et al. (2024) recorded approximately 48 hours of wrist EDA in 49 patients with bipolar disorder and 19 controls. Bipolar depression was associated with lower mean EDA and lower peak frequency than mania, euthymia, or controls; both measures increased after remission in the nine depressed participants and decreased after remission in 15 manic participants. A subsequent report from the same research programme examined sleep–wake recordings in larger mood-state groups and found clearer wakeful phasic differences across bipolar depression, mania, and euthymia than between bipolar depression and controls (Valenzuela-Pascual et al., 2025). Possible cohort overlap means that the reports are complementary rather than independent replications. Small acute-state subgroups, medication and anticholinergic effects, sleep–wake dependence, movement, temperature, and treatment setting all limit interpretation. The studies suggest state-related variation, but not a validated method for identifying episodes or monitoring response.

Suicidal behaviour has generated some of the strongest—and most contested—claims in the EDA literature. Thorell et al. (2013) analysed 783 depressed inpatients assessed over 17 years and reported a high prevalence of hyporeactivity, together with high sensitivity and a nonstandard specificity calculation for suicide and violent attempts. The authors interpreted hyporeactivity as a trait marker of suicidal propensity. That conclusion is constrained by the selected inpatient cohort, partly retrospective outcome classification, limited retesting, and the absence of an independent prospective validation cohort. Earlier reports from the same centre also contributed to this evidence base and should not be counted as separate replications. The first author was the company’s research director and a shareholder in the firm commercialising the EDOR test.

The later EUDOR-A study offered a more informative test of clinical prediction. Carli et al. (2022) recruited 1,573 patients across 15 European centres and analysed 1,370 with one-year follow-up data. Discrimination for previous attempts was weak: sensitivity was 29.86%, positive predictive value was

46.77%, and the area under the curve was 0.549. For attempts during follow-up, sensitivity was 35.36% and positive predictive value was 8.92%; for completed suicide, positive predictive value was 0.61%, based on eight deaths. Once previous suicide attempt was included in the model, hyporeactivity was no longer independently associated with a follow-up attempt. Clinicians were not blinded to the result, and the study received industry funding, so altered care after testing may have influenced outcomes. Even with that uncertainty, EDOR did not perform as a stand-alone suicide-risk tool.

Taken together, mood-disorder findings do not support a single electrodermal direction. Depressive samples may show reduced orienting or phasic responses, heightened reactions to negative stimuli, or elevated tonic activity in daily life, depending on the task and recording context. Bipolar results remain exploratory and appear state-dependent. The suicide literature provides the clearest caution: an association between hyporeactivity and suicidal behaviour has not translated into adequate individual prediction. EDA may add physiological information to multimodal research or structured assessment, but it is not an independent diagnostic, prognostic, or suicide-screening measure.

3.2. Anxiety, PTSD, and Fear/Safety Learning

Fear-conditioning paradigms provide a structured way to examine threat and safety learning in anxiety- and stress-related disorders. During acquisition, an aversively reinforced cue becomes a threat cue (CS+), while an unreinforced cue serves as a safety cue (CS-). Repeated unreinforced presentation of the CS+ constitutes extinction, and later testing assesses extinction recall. Skin conductance responses (SCRs) index sympathetic activation in these paradigms but do not directly measure subjective fear, perceived threat, or emotional valence.

The updated meta-analysis by Kausche et al. (2025) included 77 studies of adults with anxiety disorders, obsessive-compulsive disorder, or posttraumatic stress disorder (PTSD). During acquisition, clinical groups reported more negative affect towards the CS+ and showed greater threat expectancy, negative affect, and fear-potentiated startle to the CS-. Elevated negative affect and threat expectancy also persisted during extinction, particularly for the safety cue. Pooled analyses, however, did not show reliable overall group differences in SCR to either cue or in CS+/CS- differentiation. Difficulties treating a safe cue as safe were therefore clearer in subjective ratings and startle than in EDA. A broader translational meta-analysis also identified impaired extinction in PTSD, but it combined behavioural and physiological outcomes and does not establish an EDA-specific deficit (Sep et al., 2023).

Evidence for extinction recall is more limited. Kausche et al. (2025) reported a small increase in SCR to the extinguished CS+ in clinical groups, but the estimate came from only three studies and was no longer significant after adjustment for funnel-plot asymmetry. Affect ratings remained elevated for both cues, whereas SCR differentiation was not reliably altered. Difference scores can obscure parallel increases or decreases in responses to both cues. At the same time, analysing each cue separately may capture general arousal, contextual uncertainty, response generalisation, or orienting rather than a specific failure of safety learning.

The divergence among SCR, startle, expectancy, and affect ratings is clinically important. These measures index partly distinct processes: SCR reflects orienting and sympathetic activation, startle is closely related to defensive reflex potentiation, and ratings depend on conscious appraisal and report. Their imperfect correspondence helps explain why persistent fear or threat expectancy may occur without a parallel electrodermal abnormality. It also argues against a single psychophysiological profile across generalised anxiety disorder, panic disorder, social anxiety disorder, specific phobia, and PTSD.

Naturalistic evidence further complicates direct transfer from the laboratory. Wisco et al. (2025) linked three days of ambulatory physiology with ecological momentary reports in 80 trauma-exposed adults, including 39 with PTSD. PTSD status did not distinguish average skin conductance. Among participants with PTSD, an initial association between trauma reminders and lower conductance disappeared after adjustment for time of day, physical activity, caffeine, demographic factors, trauma history, and chronicity; heart-rate reactivity was more robust. Shoulder rather than palmar recording, moderate ecological-momentary-assessment compliance, a restricted age range, and several exclusion criteria limit interpretation. The study nevertheless shows why ambulatory physiology needs contemporaneous contextual information.

Wearable and machine-learning studies often label experimentally induced stress or broad task blocks as “anxiety.” Ahmadi et al. (2025) identified heterogeneous labels, reliance on laboratory or student samples, and limited external validation as major barriers. A classifier may learn general arousal, movement, or task context rather than clinical anxiety. For now, EDA is most informative as one part of a multimodal account of threat and safety learning. It is neither a stand-alone diagnostic measure nor a validated marker of treatment response.

3.3. Schizophrenia Spectrum and Psychotic Disorders

Electrodermal findings in schizophrenia are heterogeneous and have historically included two contrasting patterns. Some patients show low tonic activity, few nonspecific responses, and little orienting to innocuous stimuli, whereas others show elevated tonic activity, frequent nonspecific responses, and persistent or slowly habituating orienting responses. Dawson and Schell (2002) concluded that heightened arousal was more often associated with poor symptomatic and functional outcome, although they also identified studies linking hyporesponsivity with poorer prognosis. Clinical state, chronicity, task demands, medication, and sample composition appear to influence the direction of association. These patterns indicate within-diagnosis heterogeneity rather than stable physiological subtypes.

Schell et al. (2005) followed 78 young, recent-onset outpatients for one year after a clinically stabilised assessment. Higher skin conductance level, more nonspecific responses, and more orienting responses at baseline were associated with poorer social and occupational outcome and with greater negative symptoms at follow-up. Patients with poor outcome also showed more nonspecific responses than controls, whereas the good-outcome group did not differ from controls on the principal electrodermal measures. Medication was relatively standardised and most patients were not acutely psychotic, but outcome subgroups were small, some follow-up measures were incomplete, and the findings were not externally validated. These results are informative at the group level; the study did not establish individual prognostic performance.

Responder–nonresponder classifications may relate to selected social-emotional processes. Ikezawa et al. (2012) studied 28 clinically stable, medicated patients and 24 controls during emotion-evoking videos; half of the patients were classified as SCR nonresponders. Responders reported greater personal distress in response to others' suffering and showed different late event-related responses to painful images. The subgroups did not differ consistently in overall symptoms, neurocognition, most social-cognition measures, or performance-based functioning. The small sample, multiple outcomes, and universal antipsychotic treatment limit generalisation. The findings suggest psychophysiological heterogeneity, not comprehensive or clinically validated schizophrenia subtypes.

Ambulatory studies suggest that temporal scale and symptom context matter. Cella et al. (2018) recorded wrist EDA, heart-rate variability, and movement in 30 people with schizophrenia and 25 controls; mean EDA did not differ between groups and was positively associated with movement. In a later proof-of-concept study, Cella et al. (2019) combined 10 days of wrist EDA with smartphone reports in 15 people with first-episode psychosis, 14 of whom completed monitoring.

Within individuals, EDA was higher when hallucinations or delusions were distressing than when they were non-distressing, after accounting for activity. Short, time-linked changes may therefore be more informative than long-period diagnostic averages. Both studies involved small medicated samples, and neither established relapse prediction.

In schizophrenia, the direction of electrodermal change may be less informative than the circumstances in which it occurs. Heightened and reduced responsivity have both been linked to adverse outcomes in different samples, while responder classifications have not corresponded consistently with symptoms or functioning. Medication, illness phase, chronicity, paradigm, and movement remain important sources of variation. EDA does not currently provide a stand-alone diagnostic, prognostic, or relapse-monitoring measure, and evidence in psychotic disorders other than schizophrenia remains sparse.

3.4. Substance Use and Behavioural Addictions

In substance use disorders, cues repeatedly paired with drug use can acquire motivational significance and evoke conditioned subjective and autonomic responses. A large systematic review and meta-analysis found that cue exposure, physiological or neural cue reactivity, cue-induced craving, and craving assessed without cue exposure were prospectively associated with later drug use or relapse (Vafaie & Kober, 2022). Associations varied among studies and weakened after adjustment for publication bias. More importantly for the present chapter, the pooled category of physiological cue reactivity was not specific to EDA and does not establish electrodermal prediction of relapse.

Direct electrodermal evidence is limited and strongly dependent on task design. Guerin et al. (2021) compared 30 people with current methamphetamine use disorder with 30 matched controls during methamphetamine- and food-related cues. Subjective craving increased across the task in the clinical group, whereas cue-selective SCRs were higher for pictures but not videos and declined over repeated trials. Craving and EDA therefore captured partly distinct processes. The cross-sectional, single-site study did not examine subsequent use, treatment response, or relapse.

Cue reactivity has also been examined in behavioural addictions. Starcke et al. (2018) reported greater subjective and pooled physiological or electroencephal responses to addiction-relevant cues in gambling, gaming, and buying samples than in controls. The physiological estimate, however, combined skin conductance with cardiac, muscular, blood-pressure, electroencephal, and other measures drawn from a small heterogeneous literature. In pathological buying, shopping cues elicited higher SCRs in the clinical group than in controls, together

with greater arousal, urge to buy, and post-task craving. Yet SCRs to shopping and control cues did not differ significantly within the clinical group, limiting claims of cue specificity (Trotzke et al., 2014). Mood and anxiety comorbidity and the absence of independent replication add further uncertainty.

EDA may index conditioned autonomic responsivity to substance- or behaviour-related cues, but it is not equivalent to craving and does not currently offer a validated diagnostic, prognostic, or relapse-monitoring measure. Cue modality, repetition, control conditions, comorbidity, and recording method all influence the observed response. Prospective findings for broad cue-reactivity measures cannot be assumed to apply specifically to EDA without direct individual-level validation.

4. Critical Evaluation of the Literature

The evidential base for psychiatric EDA remains uneven. Many studies use small, selected, cross-sectional samples, and diagnostic groups often differ in medication exposure, comorbidity, illness phase, smoking, caffeine use, sleep, and treatment setting. These factors may alter sudomotor activity or its behavioural context independently of psychopathology. A finding in an acutely ill inpatient sample cannot therefore be assumed to represent a stable disorder characteristic. Null or opposing results may reflect differences in sampling and clinical state rather than failed replication alone.

Variation also enters before the signal is analysed. Recording site, electrode material and pressure, hydration, ambient temperature, thermoregulatory sweating, movement, and changing skin contact can materially affect EDA (Tronstad et al., 2022). Evidence from small experimental comparisons does not establish that alternative sites are interchangeable in naturalistic settings (Hossain et al., 2022). Long-interval mean conductance may combine tonic level with accumulated phasic responses rather than represent pure tonic activity. Age, sex, ethnicity, and skin properties may add further between-group variation when samples are poorly described or matched. These influences are cumulative: a change in site, context, or preprocessing can alter the meaning of the same numerical measure.

Analytical decisions add another source of uncertainty. Response windows, amplitude thresholds, filtering, artefact handling, baseline correction, decomposition, and definitions of nonresponse or habituation vary widely. When Kuhn et al. (2022) applied seven SCR quantification approaches to the same fear-conditioning datasets, the direction of the main effect was stable, but numerical estimates, effect sizes, and intermethod agreement differed; no method was consistently superior across paradigms. Meaningful comparison therefore

depends on transparent reporting of software, settings, windows, thresholds, exclusions, and robustness analyses.

Laboratory and ambulatory studies answer related but different questions. Divergent findings across mood and trauma-related samples show how body site, temporal scale, symptom definition, activity, environmental exposure, missingness, and contextual adjustment shape naturalistic results (McDuff et al., 2025; Wisco et al., 2025). Laboratory paradigms provide control over stimulus timing. Wearables extend temporal coverage but introduce uncertain event timing and variable adherence. Neither approach is inherently more valid; each supports only the interpretation permitted by its design.

Machine-learning studies inherit these measurement problems and add new ones. Reviews describe small samples, heterogeneous sensors and labels, limited ecological validation, and frequent conflation of experimentally induced stress with clinical anxiety (Ahmadi et al., 2025; Kargarandehkordi et al., 2025). Performance may be inflated when windows from the same participant appear in both training and test sets, allowing a model to learn person-specific physiology. Participant-level separation, subject-independent testing, transparent feature selection, and external validation are basic safeguards. Accuracy alone is not enough: sensitivity, specificity, predictive values, area under the curve, confidence intervals, calibration, and clinically relevant thresholds are needed to judge potential use.

The distinction between association and individual prediction is especially clear in the suicide literature. Early EDOR research described hyporeactivity as a strong marker of suicidal propensity, but relied on a selected cohort, partly retrospective outcomes, nonstandard performance terminology, and commercial involvement (Thorell et al., 2013). The later multicentre study showed low prospective sensitivity and positive predictive value, and hyporeactivity did not remain independently associated with subsequent attempts after previous attempts were considered (Carli et al., 2022). Commercial funding does not invalidate a study, but it makes blinding, prespecification, transparent reporting, and independent replication particularly important.

Across the field, overlapping cohorts are not independent confirmations, and publication bias may favour positive physiological findings (Kausche et al., 2025; Vafaie & Kober, 2022). The evidence is strongest for EDA as a context-sensitive research measure of sympathetic sudomotor responsivity. It is substantially weaker for disorder-specific interpretation and does not support stand-alone diagnostic, prognostic, or risk-prediction use.

5. Clinical and Practical Recommendations

At present, EDA is best treated in psychiatry as an adjunctive psychophysiological measure, not as a diagnostic, prognostic, or risk-assessment tool. It reflects sympathetic sudomotor responsivity but does not identify the cause or clinical meaning of arousal. Clinical interviews, validated symptom measures, behavioural observation, and relevant medical assessment remain primary. This is particularly important in suicide-risk evaluation: prospective evidence shows insufficient sensitivity and positive predictive value, and hyporeactivity did not remain independently associated with later attempts after previous attempts were considered (Carli et al., 2022). An EDA or EDOR result cannot by itself justify discharge, a change in observation level, emergency intervention, or treatment intensity.

The clearest near-term use is research-oriented, within-person longitudinal monitoring rather than comparison with a universal threshold. Proof-of-concept and free-living studies suggest that time-linked changes may be more informative than diagnostic averages when EDA is aligned with symptoms and contextual events, although relapse prediction has not been established (Cella et al., 2019; McDuff et al., 2025; Wisco et al., 2025). Repeated measurements need to be read alongside activity, medication changes, sleep, symptom reports, and relevant clinical events. A marked departure from an individual baseline may merit review within a research protocol, but it is not a diagnosis or an automatic warning signal.

Any implementation would need a predefined, transparently reported protocol for acquisition and preprocessing. Movement, skin temperature, wear time, and preferably additional physiological or behavioural signals are important contextual measures. Combining modalities may improve interpretation, but it does not create diagnostic specificity. Consumer devices also cannot be assumed to be equivalent to laboratory systems or to one another, especially when filtering, calibration, or firmware changes are proprietary (Tronstad et al., 2022).

Before an automated model can influence care, it needs external validation in the population for which it is intended. Evaluation must extend beyond accuracy to calibration, predictive performance, robustness to missing data, and false-alarm burden. Model outputs may prompt clinical review, but they should not trigger automatic treatment changes. Current wearable–AI research remains limited by small samples, heterogeneous devices and labels, incomplete ecological validation, and uncertain transfer across settings (Kargarandehkordi et al., 2025).

Consent and data governance are equally important. Patients need to know what is recorded, who can access the data, how long they are retained, whether commercial platforms are involved, and what response—if any—an alert will

prompt. Monitoring burden, stigma, privacy, data ownership, false reassurance, unnecessary alarms, and clinical responsibility all require consideration before routine implementation. Until outcome studies demonstrate benefit, EDA-supported monitoring is best kept clinician-supervised, hypothesis-driven, and proportionate to the quality of the evidence.

6. Future Perspectives and Research Recommendations

Progress is unlikely to come from another isolated comparison between diagnostic groups. More informative studies will follow individuals over time and ask whether changes in EDA correspond to clinically meaningful changes in symptoms or context. Clinically well-characterised multicentre cohorts can help separate state-related variation from stable individual differences. In ambulatory research, repeated clinical or ecological momentary assessments are needed to give physiological fluctuations a temporal and behavioural context (Cella et al., 2019; McDuff et al., 2025; Wisco et al., 2025).

Standardisation does not require every laboratory to use a single processing pipeline. It does require researchers to make acquisition and analytical choices visible and to show whether their main findings survive reasonable alternatives. Preregistered plans, versioned pipelines, documented exclusions, and robustness analyses would improve comparability. Because SCR estimates and effect sizes can depend on the quantification method, results should not be treated as method-independent (Kuhn et al., 2022). Cross-device calibration and direct comparisons among palmar, plantar, wrist, and alternative sites remain necessary before data can be pooled across platforms (Tronstad et al., 2022).

Laboratory and naturalistic approaches are complementary. Controlled paradigms isolate stimulus-linked responses, whereas wearables capture diurnal rhythms, spontaneous events, and symptom fluctuations in daily life. Hybrid protocols could test whether laboratory response patterns correspond to ambulatory changes. In either setting, EDA is more interpretable when considered alongside movement, temperature, cardiac measures, sleep, medication timing, and ecological reports. Multimodal models also need ablation analyses to establish whether EDA adds information beyond the other signals (Ahmadi et al., 2025; Kargarandehkordi et al., 2025).

Computational validation must reflect intended use. Training and test data should be separated at the participant level, followed where feasible by temporal, site-level, and external validation. Whether personalised models outperform generalised models remains an empirical question. Calibration, model drift, interpretability, missing-data performance, false alarms, and performance across

relevant subgroups matter at least as much as aggregate discrimination (Ahmadi et al., 2025; Kargarandehkordi et al., 2025).

Clinical translation is a separate empirical test, not an automatic consequence of good classification performance. Randomised or pragmatic studies will be needed to determine whether EDA-supported monitoring changes care, improves outcomes, or simply adds burden and alarm fatigue. Such studies must also address clinical net benefit, privacy, consent, data ownership, device updates, and responsibility for responding to alerts. Until then, EDA is better regarded as a transparent, multimodal, clinician-supervised research component than as an autonomous clinical decision tool.

7. Conclusion

Electrodermal activity is a sensitive psychophysiological measure of sympathetic sudomotor responsivity and has shown relevance across mood, anxiety- and trauma-related, psychotic, and addictive disorders. The literature, however, does not reveal a consistent psychiatric electrodermal profile. Heightened and reduced tonic or phasic activity have both been reported, with results varying according to clinical state, task, medication, comorbidity, recording context, movement, and signal processing.

The central problem is not that EDA lacks clinically relevant associations. It is that these associations are nonspecific and do not yet translate reliably into individual decisions. Electrodermal changes may accompany arousal, orienting, distress, threat processing, or conditioned cue reactivity, but they do not identify a particular emotion, diagnosis, prognosis, relapse, or suicide risk. EDA is therefore neither a stand-alone biomarker nor a substitute for clinical interviews, validated symptom measures, behavioural observation, and relevant medical assessment.

Its present value lies mainly in carefully contextualised research, particularly in repeated within-person and multimodal designs. Interpretation is stronger when physiological data are aligned with symptoms, ecological momentary assessment, movement, temperature, sleep, medication timing, and cardiovascular or respiratory signals. Clinical translation will require standardised acquisition and reporting, transparent preprocessing, prospective multicentre studies, participant-level and external validation, calibrated and interpretable models, and evidence of improved patient outcomes. Until those conditions are met, EDA should remain a clinician-supervised research component rather than an autonomous clinical decision tool.

REFERENCES

- Ahmadi, N., Abbasian, P., Hou, Q., Powell, L., & Hammond, T. (2025). Physiological sensing and machine learning approaches toward anxiety detection: A systematic review. *IEEE Sensors Reviews*, 3, 89–116. <https://doi.org/10.1109/SR.2025.3643386>
- Anmella, G., Mas, A., Sanabra, M., Valenzuela-Pascual, C., Valentí, M., Pacchiarotti, I., Benabarre, A., Grande, I., De Prisco, M., Oliva, V., Fico, G., Giménez-Palomo, A., Bastidas, A., Agasi, I., Young, A. H., Garriga, M., Corponi, F., Li, B. M., de Looft, P., . . . Hidalgo-Mazzei, D. (2024). Electrodermal activity in bipolar disorder: Differences between mood episodes and clinical remission using a wearable device in a real-world clinical setting. *Journal of Affective Disorders*, 345, 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2023.10.125>
- Boucsein, W. (2012). *Electrodermal activity* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1126-0>
- Boucsein, W., Fowles, D. C., Grimnes, S., Ben-Shakhar, G., Roth, W. T., Dawson, M. E., & Filion, D. L. (2012). Publication recommendations for electrodermal measurements. *Psychophysiology*, 49(8), 1017–1034. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2012.01384.x>
- Carli, V., Hadlaczky, G., Petros, N. G., Iosue, M., Zeppegno, P., Gramaglia, C., Amore, M., Baca-Garcia, E., Batra, A., Cosman, D., Courtet, P., Di Sciascio, G., Ekstrand, J., Galfalvy, H., Gusmão, R., Jesus, C., Heitor, M. J., Constante, M., Movahed Rad, P., . . . Sarchiapone, M. (2022). A naturalistic, European multi-center clinical study of electrodermal reactivity and suicide risk among patients with depression. *Frontiers in Psychiatry*, 12, Article 765128. <https://doi.org/10.3389/fpsyt.2021.765128>
- Cella, M., He, Z., Killikelly, C., Okruszek, Ł., Lewis, S., & Wykes, T. (2019). Blending active and passive digital technology methods to improve symptom monitoring in early psychosis. *Early Intervention in Psychiatry*, 13(5), 1271–1275. <https://doi.org/10.1111/eip.12796>
- Cella, M., Okruszek, Ł., Lawrence, M., Zarlenga, V., He, Z., & Wykes, T. (2018). Using wearable technology to detect the autonomic signature of illness severity in schizophrenia. *Schizophrenia Research*, 195, 537–542. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2017.09.028>
- Dawson, M. E., & Schell, A. M. (2002). What does electrodermal activity tell us about prognosis in the schizophrenia spectrum? *Schizophrenia Research*, 54(1–2), 87–93. [https://doi.org/10.1016/S0920-9964\(01\)00355-3](https://doi.org/10.1016/S0920-9964(01)00355-3)
- Guerin, A. A., Drummond, K. D., Bonomo, Y., Lawrence, A. J., Rossell, S. L., & Kim, J. H. (2021). Assessing methamphetamine-related cue reactivity in people with

- methamphetamine use disorder relative to controls. *Addictive Behaviors*, 123, Article 107075. <https://doi.org/10.1016/j.addbeh.2021.107075>
- Hossain, M.-B., Kong, Y., Posada-Quintero, H. F., & Chon, K. H. (2022). Comparison of electrodermal activity from multiple body locations based on standard EDA indices' quality and robustness against motion artifact. *Sensors*, 22(9), Article 3177. <https://doi.org/10.3390/s22093177>
- Ikezawa, S., Corbera, S., Liu, J., & Wexler, B. E. (2012). Empathy in electrodermal responsive and nonresponsive patients with schizophrenia. *Schizophrenia Research*, 142, 71–76. <https://doi.org/10.1016/j.schres.2012.09.011>
- Kara, A. Y., Dolu, N., & Esen, F. (2026). Clinical use of electrodermal activity and current developments. *European Biophysics Journal*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s00249-026-01820-z>
- Kargarandehkordi, A., Li, S., Lin, K., Phillips, K. T., Benzo, R. M., & Washington, P. (2025). Fusing wearable biosensors with artificial intelligence for mental health monitoring: A systematic review. *Biosensors*, 15(4), Article 202. <https://doi.org/10.3390/bios15040202>
- Kausche, F. M., Carsten, H. P., Sobania, K. M., & Riesel, A. (2025). Fear and safety learning in anxiety- and stress-related disorders: An updated meta-analysis. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 169, Article 105983. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2024.105983>
- Kuhn, M., Gerlicher, A. M. V., & Lonsdorf, T. B. (2022). Navigating the manyverse of skin conductance response quantification approaches: A direct comparison of trough-to-peak, baseline correction, and model-based approaches in Ledalab and PsPM. *Psychophysiology*, 59(9), Article e14058. <https://doi.org/10.1111/psyp.14058>
- McDuff, D., Galatzer-Levy, I., Thomson, S., Barakat, A., Heneghan, C., Abdel-Ghaffar, S., Sunshine, J., Poh, M.-Z., Sunden, L., Hernandez, J. B., Jiang, A., Liu, X., Winbush, A., Nelson, B., & Allen, N. B. (2025). Evidence of differences in diurnal electrodermal, temperature and heart rate patterns by mental health status in free-living data. *BMJ Mental Health*, 28(1), Article e301307. <https://doi.org/10.1136/bmjment-2024-301307>
- Sarchiapone, M., Gramaglia, C., Iosue, M., Carli, V., Mandelli, L., Serretti, A., Marangon, D., & Zeppegno, P. (2018). The association between electrodermal activity (EDA), depression and suicidal behaviour: A systematic review and narrative synthesis. *BMC Psychiatry*, 18, Article 22. <https://doi.org/10.1186/s12888-017-1551-4>
- Schell, A. M., Dawson, M. E., Rissling, A., Ventura, J., Subotnik, K. L., Gitlin, M. J., & Nuechterlein, K. H. (2005). Electrodermal predictors of functional outcome

- and negative symptoms in schizophrenia. *Psychophysiology*, 42(4), 483–492. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.2005.00300.x>
- Sep, M. S. C., Geuze, E., & Joëls, M. (2023). Impaired learning, memory, and extinction in posttraumatic stress disorder: Translational meta-analysis of clinical and preclinical studies. *Translational Psychiatry*, 13, Article 376. <https://doi.org/10.1038/s41398-023-02660-7>
- Starcke, K., Antons, S., Trotzke, P., & Brand, M. (2018). Cue-reactivity in behavioral addictions: A meta-analysis and methodological considerations. *Journal of Behavioral Addictions*, 7(2), 227–238. <https://doi.org/10.1556/2006.7.2018.39>
- Thorell, L. H., Wolfersdorf, M., Straub, R., Steyer, J., Hodgkinson, S., Kaschka, W. P., & Jandl, M. (2013). Electrodermal hyporeactivity as a trait marker for suicidal propensity in uni- and bipolar depression. *Journal of Psychiatric Research*, 47(12), 1925–1931. <https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2013.08.017>
- Tronstad, C., Amini, M., Bach, D. R., & Martinsen, Ø. G. (2022). Current trends and opportunities in the methodology of electrodermal activity measurement. *Physiological Measurement*, 43(2), Article 02TR01. <https://doi.org/10.1088/1361-6579/ac5007>
- Trotzke, P., Starcke, K., Pedersen, A., & Brand, M. (2014). Cue-induced craving in pathological buying: Empirical evidence and clinical implications. *Psychosomatic Medicine*, 76(9), 694–700. <https://doi.org/10.1097/PSY.0000000000000126>
- Vafaie, N., & Kober, H. (2022). Association of drug cues and craving with drug use and relapse: A systematic review and meta-analysis. *JAMA Psychiatry*, 79(7), 641–650. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2022.1240>
- Valenzuela-Pascual, C., Mas, A., Borràs, R., Anmella, G., Sanabra, M., Gonzalez-Campos, M., Valentí, M., Pacchiarotti, I., Benabarre, A., Grande, I., De Prisco, M., Oliva, V., Bastidas, A., Agasi, I., Young, A. H., Garriga, M., Murru, A., Corponi, F., Li, B. M., . . . Hidalgo-Mazzei, D. (2025). Sleep–wake variations of electrodermal activity in bipolar disorder. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 151(3), 412–425. <https://doi.org/10.1111/acps.13718>
- Wisco, B. E., Pugach, C. P., May, C. L., & Silvia, P. J. (2025). Ambulatory physiological assessment of posttraumatic stress disorder: Integrating passive sensing with ecological momentary assessment to measure trauma reactivity. *Journal of Psychopathology and Clinical Science*, 134(8), 950–959. <https://doi.org/10.1037/abn0001028>
- Wlad, M., Struckmann, W., Persson, J., Rosén, J., Fällmar, D., Bodén, R., & Gingnell, M. (2025). Emotion anticipation and processing in depression: Behavioral, neural, and physiological reactivity. *European Psychiatry*, 68(1), Article e68. <https://doi.org/10.1192/j.eurpsy.2025.10043>

2. Bölüm

İnmeli Bireylerde Üst Ekstremitte Fonksiyonları ve El Becerisini Etkileyen Faktörler ¹

Nazlı GÜNGÖR EROĞLU^{2,3}, Aref Najafi BISAFAR⁴,
Fatemeh ZAHEDI^{5*}

ÖZET

İnme, dünya genelinde ölüm ve uzun süreli engelliliğin en önemli nedenlerinden biri olup, üst ekstremitte fonksiyonları ve el becerisinde meydana gelen kayıplar bireylerin günlük yaşam aktiviteleri ile fonksiyonel bağımsızlığını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu kitap bölümünde, inme sonrası üst ekstremitte fonksiyonları ve el becerisini etkileyen temel faktörler güncel bilimsel kanıtlar doğrultusunda ele alınmıştır. İnme süresi, hemiplejik taraf ve dominant el tutulumu, motor iyileşme düzeyi, ağrı, afazi, bilişsel durum ve rehabilitasyonun zamanlaması ile yoğunluğu gibi klinik değişkenlerin fonksiyonel iyileşme üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Ayrıca üst ekstremitte fonksiyonu ve el becerisinin tanımı, klinik önemi ve değerlendirilmesinde kullanılan güncel ölçüm araçları özetlenmiştir. Literatürde yer alan güncel sistematik derlemeler, meta-analizler ve klinik kılavuzlar eleştirel bir bakış açısıyla incelenerek güçlü ve sınırlı yönleri tartışılmıştır. Mevcut kanıtlar doğrultusunda erken dönemde başlanan, yeterli yoğunlukta uygulanan, görev odaklı ve bireyselleştirilmiş rehabilitasyon programlarının üst ekstremitte fonksiyonları, el becerisi ve fonksiyonel bağımsızlık üzerinde olumlu etkiler sağladığı vurgulanmıştır. Sonuç olarak, inme sonrası üst ekstremitte rehabilitasyonunda hasta özelliklerini dikkate alan kanıta dayalı değerlendirme ve tedavi yaklaşımlarının benimsenmesi, fonksiyonel iyileşmenin desteklenmesi ve yaşam kalitesinin artırılması açısından büyük önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: İnme, üst ekstremitte fonksiyonu, el becerisi, rehabilitasyon, nöroplastisite, günlük yaşam aktiviteleri.

¹ Bu bölüm V. Uluslararası Sağlık Bilimleri Öğrenci Kongresinde (V. SAGOK 2026) sunulmuş, özet bildiri olarak yayınlanmıştır.

² Dr. Öğr. Gör., İstanbul Arel Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, İstanbul Türkiye, ORCID: 0000-0002-1904-6274, nazligungorbaskent@hotmail.com

³ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Ana Bilim Dalı, İstanbul Türkiye

⁴ Fzt., İstanbul Arel Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, İstanbul Türkiye ORCID: 0009-0002-2399-2965, najafiaref44@gmail.com

⁵ İstanbul Arel Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, İstanbul Türkiye ORCID: 0009-0001-1862-7085, fatemehzahedi24@istanbularel.edu.tr

*Sorumlu yazar

GİRİŞ

İnme, dünya genelinde ölüm ve uzun süreli engelliliğin başlıca nedenlerinden biri olup önemli bir halk sağlığı sorunudur. İnme sonrasında ortaya çıkan duyu, biliş, motor ve dil bozuklukları (özellikle afazi), bireylerin yaşam kalitesini önemli ölçüde azaltmakta; sosyal katılımını, çevreye erişimini ve günlük yaşam bağımsızlığını olumsuz etkilemektedir (Hilari vd., 2012). Özellikle motor bozukluklar, üst ekstremitate fonksiyonlarında belirgin kayıplara yol açmakta ve bu durum bireylerin yaşam kalitesi, sosyal katılımı ve fonksiyonel bağımsızlığı üzerinde doğrudan olumsuz etki oluşturmaktadır (Feys vd., 1998; Moreno-Morente vd., 2026).

İnme sonrası fonksiyonel iyileşme; nörolojik hasarın şiddeti, rehabilitasyonun başlama zamanı ve yoğunluğu, bireysel özellikler ile beynin nöroplastisite kapasitesi gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Araştırmalar, nöroplastisite mekanizmalarının daha aktif olduğu erken dönemde motor iyileşmenin daha hızlı gerçekleştiğini göstermektedir. Buna karşılık kronik dönemde fonksiyonel iyileşme daha sınırlı olmaktadır. Bu nedenle, inme sonrası geçen süre rehabilitasyon sonuçlarını öngörmeye önemli klinik belirleyicilerden biri olarak kabul edilmektedir (Cramer & Randolph, 2010; Krakauer vd., 2012).

Hemiplejik tarafın rehabilitasyon sürecinde dikkate alınması ve tedavi hedeflerinin buna göre belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Özellikle dominant üst ekstremitenin etkilenmesi, günlük yaşam aktivitelerinde daha belirgin fonksiyonel kısıtlılıklara neden olabilmektedir (Harris & Eng, 2006). İnme rehabilitasyonunda temel odak genellikle etkilenen üst ekstremitenin fonksiyonlarının iyileştirilmesi olsa da, etkilenen eldeki fonksiyon kaybı uzun dönemde devam edebilmektedir. Ayrıca güncel çalışmalar, daha az etkilenen üst ekstremitede de hafif düzeyde motor bozuklukların görülebileceğini ve bunun günlük yaşam aktivitelerindeki bağımsızlık üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermektedir (Hmaied Assadi vd., 2022).

Literatürde inme süresi, hemiplejik taraf, üst ekstremitate fonksiyonları ve el becerisi çoğunlukla birbirinden bağımsız değişkenler olarak incelenmiştir. Buna karşın bu çalışmada, söz konusu değişkenler arasındaki ilişkinin birlikte değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Nöroplastisite, motor iyileşme, üst ekstremitate fonksiyonları ve el becerisi arasındaki ilişkinin ortaya konulması, bireye özgü rehabilitasyon programlarının planlanmasına ve fonksiyonel bağımsızlığın artırılmasına katkı sağlayabilir.

İnme Sonrası Üst Ekstremitte Fonksiyonları ve El Becerisindeki Etkilenimin Değerlendirilmesi

Üst ekstremitte fonksiyonu; omuz, dirsek, el bileği ve elin koordineli çalışmasıyla uzanma, kavrama, taşıma ve nesne manipülasyonu gibi günlük yaşam aktivitelerinin gerçekleştirilmesini sağlayan karmaşık bir motor süreçtir. İnme sonrasında hemiparezi, kas kuvvetinde azalma, spastisite, duyu bozuklukları ve motor kontrol kaybı gibi sorunlar ortaya çıkabilmekte, bu durum üst ekstremitenin fonksiyonel kullanımını sınırlandırarak bireyin bağımsızlığını azaltabilmektedir (Langhorne vd., 2011; Veerbeek vd., 2014; Winstein vd., 2016).

El becerisi; el ve parmakların nesneleri kavrama, manipüle etme ve bırakma sırasında hızlı, doğru ve koordineli hareket edebilme yeteneğidir. Bu beceri yalnızca kas kuvvetine bağlı olmayıp; duyu-motor bütünlük, parmak koordinasyonu, kuvvet kontrolü ve hareket zamanlamasını içeren karmaşık bir süreçtir. El becerisi genel olarak kaba ve ince el becerisi olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Kaba el becerisi büyük nesnelerin kavranması ve bırakılması gibi temel fonksiyonları içerirken, ince el becerisi hassas kavrama, parmak koordinasyonu ve küçük nesnelerin kontrollü manipülasyonunu kapsamaktadır.

İnme sonrasında motor kontrol bozukluğu, kas kuvvetinde azalma ve koordinasyon problemleri el becerisini olumsuz etkileyerek bireyin günlük yaşam aktivitelerindeki bağımsızlığını azaltmaktadır. Bu nedenle el becerisinin değerlendirilmesi ve geliştirilmesi, inme rehabilitasyonunun temel hedeflerinden biri olarak kabul edilmektedir (Hmaied Assadi vd., 2022; Johansson & Häger, 2019).

Günümüzde inme rehabilitasyonunda yalnızca kas kuvveti veya eklem hareket açıklığı gibi temel motor parametrelerin değerlendirilmesi yeterli görülmemektedir. Bunun yanında el becerisi, koordinasyon ve üst ekstremitenin fonksiyonel kullanım kapasitesinin de kapsamlı biçimde değerlendirilmesi önerilmektedir. Bu amaçla Nine Hole Peg Test (NHPT), Box and Block Test (BBT) ve Action Research Arm Test (ARAT) gibi standart değerlendirme araçları klinik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Sonuç olarak, üst ekstremitte fonksiyonları ve el becerisi, inme sonrası fonksiyonel bağımsızlığı belirleyen temel unsurlar arasında yer almaktadır. Güncel çalışmalar, el becerisinin doğru değerlendirilmesi ve rehabilitasyon programlarında hedeflenmesinin, bireylerin günlük yaşam aktivitelerine katılımını ve fonksiyonel bağımsızlığını artırmada önemli katkılar sağladığını göstermektedir (Cordes vd., 2024).

İnme Sonrası Üst Ekstremitte Fonksiyonları ve El Becerisini Etkileyen Faktörler

İnmeli bireylerde inme sonrası üst ekstremitte fonksiyonları ve el becerisinin iyileşmesi, birbirleriyle etkileşim içinde olan çok sayıda faktörden etkilenen önemli bir süreçtir. Güncel kanıtlar; inmeye bağlı klinik özellikler, motor ve duyu bozuklukları, bilişsel durum, demografik özellikler ve rehabilitasyon sürecine ilişkin değişkenlerin fonksiyonel iyileşme üzerinde belirleyici rol oynadığını göstermektedir. Bu faktörlerin standart seklinde değerlendirilmesi, bireyin fonksiyonel kapasitesinin belirlenmesi, uygun rehabilitasyon hedeflerinin oluşturulması ve tedavi programının bireysel gereksinimlere göre planlanması açısından büyük önem taşımaktadır (Coupar vd., 2012; Hmaied Assadi vd., 2022; Salvalaggio vd., 2025; Winstein vd., 2016).

İnme sonrası üst ekstremitte iyileşmesinde dominant ve nondominant el tutulumu önemli bir faktör olarak değerlendirilmektedir. Dominant el etkisinin motor iyileşme üzerindeki rolü konusunda farklı sonuçlar bulunmaktadır. Çok merkezli bir çalışmada, dominant ve nondominant taraf tutulumu olan bireylerde rehabilitasyon sürecinde anlamlı üst ekstremitte gelişimi gözlenmiş, ancak iyileşme düzeylerinin elin fonksiyonel rolüne bağlı olarak farklılık gösterebileceği bildirilmiştir (Hmaied Assadi vd., 2020).

Johansson & Häger (2019), modifiye ettikleri dokuz delikli çivi testini kullanarak inme hastalarındaki el becerisini kinematik analizle incelemiştir. Kinematik analizle, klasik kronometre ölçümlerinin değerlendiremediği kompansatuar hareketler ve ince motor kayıplar ölçülebilmektedir. Ancak kinematik sistemlerin yüksek maliyetli olması ve teknik kurulum gerektirmesi nedeniyle rutin klinik ortamlara entegre edilmesi, bütçe ve zaman kısıtlılığı nedeniyle kısıtlıdır. Sonuç olarak, kinematik analiz araştırma amaçlı kullanımlar için anlamlı olmakla birlikte, rutin klinik uygulamalarda uygulanabilirliği sınırlıdır.

İnme geçiren olan hastalar üst ekstremitte fonksiyonlarının ve el becerisinin geri kazanılması, büyük ölçüde motor iyileşme düzeyi ile ilişkilidir. Brunnstrom evrelemesi, hemiplejik ekstremitede motor kontrolün gelişimini değerlendirmek için kullanılan klinik bir ölçüm yöntemidir. Güncel çalışmalar, başlangıçtaki motor bozukluk şiddeti, üst ekstremitte fonksiyon düzeyi ve kortikospinal sistem bütünlüğünün el becerisi ve fonksiyonel iyileşme üzerinde önemli bir belirleyici olduğunu göstermektedir (Kolmos vd., 2025).

Ağrı, inme sonrası üst ekstremitte fonksiyonlarını olumsuz etkileyen önemli klinik faktörlerden biridir. Özellikle hemiplejik tarafta görülen omuz ağrısı ve aksiller bölgedeki yumuşak doku gerginlikleri, hareket kısıtlılığına azalmasına ve spastisite ve kas tonusunda Artış ve rehabilitasyon sürecine katılımın olumsuz etkilenmesine neden olabilir. Bu nedenle ağrının erken dönemde

değerlendirilmesi ve uygun yönetiminin sağlanması, üst ekstremité fonksiyonlarının geliştirilmesi ve fonksiyonel iyileşmenin desteklenmesi açısından önemli bir klinik öncelik olarak kabul edilmektedir (Anwer & Alghadir, 2020).

Afazi, inme sonrası iletişim becerilerini olumsuz etkileyen yaygın bir bozukluktur ve günlük yaşamı, istihdamı ile yaşam kalitesini önemli ölçüde etkileyebilir. Çalışmalar, afazi şiddetinin inme sonrası fonksiyonel sonuçları belirleyen en önemli faktörlerden biri olduğunu göstermektedir. Afazi şiddetindeki artış; işe dönüş olasılığının azalması, yaşam kalitesinin düşmesi ve iletişim performansının bozulması ile ilişkilidir. İletişim güçlükleri, iş görevlerinin yerine getirilmesini ve iş yaşamının sürdürülmesini zorlaştırarak istihdam fırsatlarını azaltmaktadır. Bunun yanı sıra afazi; günlük yaşam aktivitelerini, aile ve çevreyle iletişimi, sosyal katılımı ve kişilerarası ilişkileri sınırlandırabilmektedir. Ayrıca sosyal ve çevresel engeller bu sorunları daha da artırarak yaşam kalitesini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle rehabilitasyona akut dönemde ve mümkün olan en erken zamanda başlanması büyük önem taşımaktadır. Konuşma ve dil terapisi ile sosyal ve mesleki desteklerin sağlanması; iletişim becerilerinin geliştirilmesi, bağımsızlığın artırılması, işe dönüşün kolaylaştırılması ve yaşam kalitesinin iyileştirilmesinde önemli rol oynamaktadır (Konishi vd., 2025).

Hilari vd. (2012), sistematik bir derlemeyle afazili hastalarda yaşam kalitesini (HRQoL) belirleyen dinamikleri incelemiştir. Çalışmada, afazi sadece bir konuşma bozukluğu olarak değil, psikososyal bozukluklara yol açan bir klinik tablo olarak ortaya konulmuştur. Fakat derlemeye alınan çalışmaların tek bir ortak ölçek kullanmaması ve örneklemelerin çok dağınık olması verilerin net bir şekilde genellenmesini zorlaştırmaktadır. Yine de klinisyenlerin kronik dönemde sosyal destek mekanizmalarını ön plana alması gerektiğini açıklayan bir çalışma olarak öne çıkmaktadır.

İnmeli hastalarda üst ekstremitenin fonksiyonel iyileşmesini maksimum düzeyde sağlayabilmek için hastaların mümkün olan en erken dönemde uygun rehabilitasyon programına alınması önerilmektedir. Jesuthasan vd. (2025), güncel inme rehabilitasyonda erken rehabilitasyon, yoğun tedavi programları ve telerehabilitasyon uygulamalarının klinik yaklaşımlardaki yerini değerlendirmiştir. Çalışma, özellikle erken müdahale, bireyselleştirilmiş rehabilitasyon ve teknolojik uygulamaların kullanımına ilişkin güncel öneriler sunması açısından önemli katkılar sağlamaktadır. Hastanın klinik durumuna göre önerilen günde en az 3 saatlik yoğun rehabilitasyon programı her hasta tarafından tolere edilemeyebileceği düşünülmektedir. Ayrıca birçok sağlık merkezinde personel, zaman ve kaynak yetersizliği nedeniyle bu önerilerin uygulanması güç

olabilmektedir. Bu nedenle, kılavuz önerilerinin klinik uygulamadaki uygulanabilirliği bazı durumlarda sınırlı kalabilmekte ve rehabilitasyon programlarının bireyin klinik özellikleri ile sağlık hizmeti koşulları doğrultusunda planlanması önerilmektedir.

İnmeli Bireylerde Üst Ekstremité Rehabilitasyonuna Yönelik Öneriler

Üst ekstremité fonksiyonlarının değerlendirilmesi, bireye özgü rehabilitasyon programının planlanması ve tedavi etkinliğinin izlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle değerlendirmelerin, standartlaştırılmış ve geçerliliği kanıtlanmış ölçüm araçları kullanılarak, uygun çevresel koşullarda ve güvenli bir klinik ortamda gerçekleştirilmesi önerilmektedir. Güvenilir değerlendirme sonuçları; hastanın fonksiyonel düzeyinin doğru belirlenmesine, tedavi hedeflerinin bireyselleştirilmesine ve üst ekstremité fonksiyonları ile el becerisinin geliştirilmesine katkı sağlayarak günlük yaşamda bağımsızlığın artırılmasını desteklemektedir (Alt Murphy vd., 2021).

El becerisi günlük yaşam bağımsızlığının temel belirleyicilerinden biridir. El becerisini geliştirmeye yönelik yoğun görev odaklı uygulamalara yer verilmesi önerilmektedir. Bu nedenle kavrama, bırakma, uzanma, ince motor koordinasyon ve bimanuel aktiviteleri içeren görev odaklı uygulamalar rehabilitasyon programlarında yeterli yoğunlukta uygulanmalıdır. Tekrarlı üst ekstremité pratiğinin motor fonksiyonları geliştirdiğine ilişkin güncel kanıtlar bulunmaktadır (Alt Murphy vd., 2025).

Ayrıca inmeli bireylerde üst ekstremité rehabilitasyonun yoğunluğu artırılmalıdır. Güncel Avrupa İnme Organizasyonu (ESO) kılavuzu, standart rehabilitasyon programına ek olarak en az 20 saatlik tekrarlayıcı üst ekstremité pratiğinin uygulanmasını önermektedir. Uygulamaların genellikle 4–6 hafta boyunca haftada 3–5 gün olacak planlanması ve üst ekstremité fonksiyonlarının iyileşmesini desteklemekte ve fonksiyonel kullanımın artırılmasına katkı sağlamaktadır. Bu nedenle, yeterli yoğunlukta ve tekrara dayalı rehabilitasyon programları ile hastanın performansını en üst düzeye çıkarılması önemli bir yaklaşım olarak değerlendirilmektedir (Alt Murphy vd., 2025).

İnme Sonrası Üst Ekstremité Rehabilitasyonunda Gelecek Perspektifleri ve Önerileri

Gelecekte yapılacak araştırmalarda, üst ekstremité fonksiyonu ve el becerisini etkileyen faktörlerin daha iyi anlaşılabilmesi için geniş örneklemli, çok merkezli ve uzun dönem prospektif çalışmalara ihtiyaç duymaktadır. Ayrıca, rehabilitasyon protokollerinin yoğunluğu, süresi ve tedavi parametrelerinin standartlaştırılması, elde edilen bulguların karşılaştırılabilirliğini artıracaktır (Alt Murphy vd., 2025;

Wolf vd., 2021). Son yıllarda robot destekli rehabilitasyon, sanal gerçeklik ve diğer teknoloji destekli uygulamalar, üst ekstremité fonksiyonlarının iyileştirilmesinde umut verici yaklaşımlar olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, bu teknolojilerin uzun dönem etkinliği, optimal uygulama parametreleri ve farklı inme evrelerindeki klinik yararlarını değerlendiren yüksek kaliteli randomize kontrollü çalışmalara gereksinim bulunmaktadır (Boardsworth vd., 2025; Kenea vd., 2025). Ayrıca, hasta özelliklerine göre bireyselleştirilmiş rehabilitasyon yaklaşımlarının geliştirilmesi ve bu yaklaşımların klinik sonuçlar üzerindeki etkisinin araştırılması, gelecekteki çalışmalar için önemli araştırma alanları arasında yer almaktadır (Alt Murphy vd., 2021).

SONUÇ

İnme sonrası üst ekstremité fonksiyonlarında ve el becerisinde meydana gelen kayıplar, bireylerin günlük yaşam aktivitelerine katılımını, fonksiyonel bağımsızlığını ve yaşam kalitesini önemli ölçüde etkileyen temel sorunlar arasında yer almaktadır. Güncel bilimsel çalışmalar; inme sonrası geçen süre, hemiplejik taraf, ağrı, afazi, motor iyileşme düzeyi, bilişsel durum ile rehabilitasyona zamanında başlanması ve uygulanan rehabilitasyon programının özelliklerinin, üst ekstremité fonksiyonlarının ve el becerisinin yeniden kazanılmasında belirleyici rol oynadığını göstermektedir. Bu nedenle rehabilitasyon sürecinde hastaların klinik ve fonksiyonel özelliklerinin kapsamlı biçimde değerlendirilmesi, eşlik eden bozuklukların erken dönemde belirlenmesi ve bireysel gereksinimlerin dikkate alınması büyük önem taşımaktadır.

Kanıtı dayalı rehabilitasyon yaklaşımları doğrultusunda; standartlaştırılmış değerlendirme araçlarının kullanılması, yeterli yoğunluk ve tekrarlar uygulanan görev odaklı egzersiz programlarının planlanması ve tedavinin bireye özgü olarak düzenlenmesi, üst ekstremité fonksiyonlarının geliştirilmesine ve fonksiyonel bağımsızlığın artırılmasına önemli katkı sağlamaktadır. Özellikle inmenin erken döneminde, nöroplastisite mekanizmalarının en aktif olduğu süreçte rehabilitasyona başlanmasının, kortikal reorganizasyonu destekleyerek tedavi sonuçlarını anlamlı düzeyde iyileştirdiği bildirilmektedir.

Sonuç olarak, üst ekstremité fonksiyonları ve el becerisini etkileyen faktörlerin doğru şekilde belirlenmesi ve bu faktörlerin rehabilitasyon programına bütüncül bir yaklaşımla dâhil edilmesi, tedavi etkinliğinin artırılması, fonksiyonel bağımsızlığın geliştirilmesi ve inme geçiren bireylerin yaşam kalitesinin yükseltilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Ayrıca gelecekte gerçekleştirilecek geniş örneklemlili, çok merkezli ve uzun dönemli çalışmaların, bireyselleştirilmiş rehabilitasyon yaklaşımlarının geliştirilmesine ve klinik uygulamaların daha güçlü bilimsel kanıtlarla desteklenmesine önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Alt Murphy, M., Björkdahl, A., Forsberg-Wärleby, G., & Persson, C. U. (2021). Implementation of evidence-based assessment of upper extremity in stroke rehabilitation: From evidence to clinical practice. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 53(1). <https://doi.org/10.2340/16501977-2790>
- Alt Murphy, M., Munoz-Novoa, M., Heremans, C., Branscheidt, M., Cabanas-Valdés, R., Engelter, S. T., Kruuse, C., Kwakkel, G., Lakičević, S., Lampropoulou, S., Luft, A. R., Marque, P., Moore, S. A., Podlasek, A., Shankaranarayana, A. M., Shaw, L., Solomon, J. M., Stinear, C., Swinnen, E., ... Verheyden, G. (2025). European Stroke Organisation (ESO) guideline on motor rehabilitation. *European Stroke Journal*, 10(4), 1160–1188. <https://doi.org/10.1177/23969873251338142>
- Anwer, S., & Alghadir, A. (2020). Incidence , Prevalence , and Risk Factors of Hemiplegic Shoulder Pain : A Systematic Review Made with Xodo PDF Reader and Editor. *International Journal of Environmental Research and Public Health Review*, 17. <https://doi.org/doi:10.3390/ijerph17144962>
- Boardsworth, K., Rashid, U., Olsen, S., Rodriguez-Ramirez, E., Browne, W., Alder, G., & Signal, N. (2025). Upper limb robotic rehabilitation following stroke: a systematic review and meta-analysis investigating efficacy and the influence of device features and program parameters. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12984-025-01662-4>
- Cordes, D., Gerloff, C., Heise, K. F., Hummel, F. C., Schulz, R., Wolf, S., Haevernich, K., Krüger, H., Krause, L., Suling, A., Wegscheider, K., Zapf, A., Dressnandt, J., Schäpers, B., Schrödl, C., Hauptmann, B., Kirchner, A., Brault, A., Gutschalk, A., ... Voller, B. (2024). Efficacy and safety of transcranial direct current stimulation to the ipsilesional motor cortex in subacute stroke (NETS): a multicenter, randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *The Lancet Regional Health - Europe*, 38, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.lanepe.2023.100825>
- Coupar, F., Pollock, A., Legg, L., Sackley, C., & Van Vliet, P. (2012). Home-based therapy programmes for upper limb functional recovery following stroke (Review). *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 5. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD006755.pub2>. www.cochranelibrary.com
- Cramer, S. C., & Randolph J, N. (2010). *Brain Repair After Stroke*. Cambridge University Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1017/CBO9780511777547>
- Feys, H. M., De Weerd, W. J., Selz, B. E., Cox Steck, G. A., Spichiger, R.,

- Vereck, L. E., Putman, K. D., & Van Hoydonck, G. A. (1998). Effect of a therapeutic intervention for the hemiplegic upper limb in the acute phase after stroke: A single-blind, randomized, controlled multicenter trial. *Stroke*, 29(4), 785–792. <https://doi.org/10.1161/01.STR.29.4.785>
- Harris, J. E., & Eng, J. J. (2006). Individuals with the dominant hand affected following stroke demonstrate less impairment than those with the nondominant hand affected. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 20(3), 380–389. <https://doi.org/10.1177/1545968305284528>
- Hilari, K., Needle, J. J., & Harrison, K. L. (2012). What are the important factors in health-related quality of life for people with aphasia? A systematic review. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 93(Suppl 1.), S86-S95.e4. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2011.05.028>
- Hmaied Assadi, S., Barel, H., Dudkiewicz, I., Gross-Nevo, R. F., & Rand, D. (2022). Less-Affected Hand Function Is Associated with Independence in Daily Living: A Longitudinal Study Poststroke. *Stroke*, 29(2), 939–946. <https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.121.034478>
- Hmaied Assadi, S., Feige Gross-Nevo, R., Dudkiewicz, I., Barel, H., & Rand, D. (2020). Improvement of the Upper Extremity at the Subacute Stage Poststroke: Does Hand Dominance Play a Role? *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 34(11), 1030–1037. <https://doi.org/10.1177/1545968320962502>
- Jesuthasan, A., Maung, M., Ajina, S., & Warburton, E. (2025). Rehabilitation Guidelines in Stroke. *British Journal of Hospital Medicine*, 86(12), 1–23. <https://doi.org/10.12968/hmed.2024.1040>
- Johansson, G. M., & Häger, C. K. (2019). A modified standardized nine hole peg test for valid and reliable kinematic assessment of dexterity post-stroke. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 16(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12984-019-0479-y>
- Kenea, C. D., Abessa, T. G., Lamba, D., & Bonnechère, B. (2025). Immersive Virtual Reality in Stroke Rehabilitation: A Systematic Review and Meta-Analysis of Its Efficacy in Upper Limb Recovery. *Journal of Clinical Medicine*, 14(6). <https://doi.org/10.3390/jcm14061783>
- Kolmos, M., Munoz-Novoa, M., Sunnerhagen, K., Murphy, M. A., & Kruuse, C. (2025). Upper-extremity motor recovery after stroke: A systematic review and meta-analysis of usual care in trials and observational studies. *Journal of the Neurological Sciences*, 468. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2024.123341>
- Konishi, M., Funayama, M., Saito, F., Nakagawa, Y., Fujinaga, N., Urano, M., Osumi, M., Harayama, S., Tateishi, M., Tanemura, J., & Mimura, M.

- (2025). Exploring the Impact of Aphasia Severity on Employment, Social Participation, and Quality of Life. *medRxiv*, 2025.01.08.25320231. <http://medrxiv.org/content/early/2025/01/10/2025.01.08.25320231.abstract>
- Krakauer, J. W., Carmichael, S. T., Corbett, D., & Wittenberg, G. F. (2012). Getting neurorehabilitation right: What can be learned from animal models? *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 26(8), 923–931. <https://doi.org/10.1177/1545968312440745>
- Langhorne, P., Bernhardt, J., & Kwakkel, G. (2011). Stroke rehabilitation. *The Lancet*, 377(9778), 1693–1702. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(11\)60325-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(11)60325-5)
- Moreno-Morente, G., Company-Devesa, V., Espinosa-Sempere, C., Peral-Gómez, P., Carrión-Téllez, V., & Compañ-Gabucio, L. M. (2026). Manual Dexterity Training and Cognitive Function in Adults with Stroke: A Scoping Review. *Healthcare (Switzerland)*, 14(2), 1–14. <https://doi.org/10.3390/healthcare14020234>
- Salvalaggio, S., Gambazza, S., Andò, M., Parrotta, I., Burgio, F., Danesin, L., Busan, P., Zago, S., Mantini, D., Imperio, D. D., Zorzi, M., Filippini, N., & Turolla, A. (2025). Modeling Upper Limb Rehabilitation-Induced Recovery After Stroke : The Role of Attention as a Clinical Confounder. *Physical Therapy*, 105(2). <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/ptj/pzae148>
- Veerbeek, J. M., Van Wegen, E., Van Peppen, R., Van Der Wees, P. J., Hendriks, E., Rietberg, M., & Kwakkel, G. (2014). What is the evidence for physical therapy poststroke? A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE*, 9(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0087987>
- Winstein, C. J., Stein, J., Arena, R., Bates, B., Cherney, L. R., Cramer, S. C., Deruyter, F., Eng, J. J., Fisher, B., Harvey, R. L., Lang, C. E., MacKay-Lyons, M., Ottenbacher, K. J., Pugh, S., Reeves, M. J., Richards, L. G., Stiers, W., & Zorowitz, R. D. (2016). Guidelines for Adult Stroke Rehabilitation and Recovery: A Guideline for Healthcare Professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*, 47(6), e98–e169. <https://doi.org/10.1161/STR.0000000000000098>
- Wolf, S., Gerloff, C., & Backhaus, W. (2021). Predictive Value of Upper Extremity Outcome Measures After Stroke—A Systematic Review and Metaregression Analysis. *Frontiers in Neurology*, 12(June). <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.675255>

3. Bölüm

Yapay Zekâ Tabanlı Mikrodosimetri Analizlerinde Recurrent Neural Network (RNN) Modeli Kullanımı¹

Fatma Buket HİZARCI^{2*}

ÖZET

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, Monte Carlo simülasyonları ile üretilen mikrodosimetrik verilerin yapay zekâ tabanlı bir yaklaşımla modellenebilirliği araştırılmış ve Recurrent Neural Network (RNN) mimarisinin absorbe edilen doz kestirimindeki performansı değerlendirilmiştir. Mikrodosimetri, iyonlaştırıcı radyasyonun hücresel ve hücre altı ölçekte oluşturduğu enerji birikimlerini inceleyerek, klasik dozimetri yaklaşımlarının ötesinde radyasyonun biyolojik etkilerini daha ayrıntılı yorumlamaya olanak sağlar. Özellikle lineal enerji, enerji bırakımı ve olay frekansı gibi mikrodosimetrik büyüklükler, radyasyonun yalnızca toplam dozunu değil, enerjinin mikro ölçekteki dağılım özelliklerini de yansıtmaktadır. Bu nedenle mikrodosimetri, sağlık fizigi, radyobiyoji ve radyoterapi araştırmaları açısından önemli bir yöntemsel çerçeve sunmaktadır. Monte Carlo simülasyonları, radyasyonun madde ile etkileşimini yüksek fiziksel doğrulukla modelleyebilmesine karşın, özellikle yüksek hacimli mikrodosimetrik veri üretiminde uzun hesaplama süresi ve yüksek işlem yükü gerektirmektedir. Bu çalışmanın temel çıkış noktası, Monte Carlo'nun sağladığı fiziksel doğruluğu koruyarak, simülasyon verilerinden öğrenebilen yapay zekâ destekli bir modelleme yaklaşımı geliştirmektir. Bu kapsamda yapay zekâ, Monte Carlo simülasyonlarının yerine geçen bir yöntem olarak değil, simülasyon çıktılarındaki karmaşık örüntüleri öğrenerek doz kestirim sürecini destekleyen tamamlayıcı bir araç olarak ele alınmıştır. Çalışmada toplam 100.000 gözlemde oluşan bir veri seti kullanılmıştır. Veri setinde lineal enerji, enerji bırakımı ve frekans bağımsız değişkenler; absorbe doz ise bağımlı değişken olarak tanımlanmıştır. Olay kimliği değişkeni yalnızca kimlik bilgisi taşıdığı için model girdilerine dâhil edilmemiştir. Tanımlayıcı istatistikler, değişkenlerin farklı büyüklük seviyelerinde bulunduğunu ve özellikle absorbe doz değişkeninin oldukça küçük sayısal değerlere sahip olduğunu göstermiştir. Bu nedenle veri ön

¹ Bu bölüm V. Uluslararası Sağlık Bilimleri Öğrenci Kongresinde (V. SAGOK 2026) sunulmuş, özet bildirisi olarak yayınlanmıştır.

² İstanbul Aydın Üniversitesi; ORCID:0009-0005-4539-0350; bukethizarci@hotmail.com

*Sorumlu Yazar

işleme sürecinde hem giriş değişkenlerine hem de hedef değişkene Min-Max normalizasyon uygulanmıştır. Modelleme sürecinde Python ortamında pandas, numpy, scikit-learn ve TensorFlow/Keras kütüphaneleri kullanılmıştır. Veri seti RNN katmanına uygun biçimde (N, 1, 3) yapısına dönüştürülmüş; model 32 nöronlu SimpleRNN katmanı, 16 nöronlu Dense katmanı ve tek nöronlu doğrusal çıkış katmanından oluşturulmuştur. Model, Adam optimizasyon algoritması, MSE kayıp fonksiyonu ve MAE metriği kullanılarak 50 epoch boyunca eğitilmiştir. Elde edilen bulgular, uygun normalizasyon sonrasında RNN modelinin mikrodosimetrik değişkenler ile absorbe edilen doz arasındaki ilişkiyi öğrenebildiğini göstermiştir. Sonuç olarak bu tez, Monte Carlo tabanlı mikrodosimetrik verilerin yapay zekâ ile işlenebileceğini ve sağlık fiziki araştırmaları için geliştirilebilir bir yöntemsel temel sunduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Mikrodosimetri, Monte Carlo simülasyonu, yapay zekâ, RNN, doz kestirimi, sağlık fiziki.

GİRİŞ

İyonlaştırıcı radyasyonun madde ile etkileşimi, sağlık fiziği, radyobiyo­loji ve radyoterapi alanlarının temel araştırma konularından biridir. Radyasyonun biyolojik sistemlerde oluşturduğu etkinin anlaşılabilmesi için dokuda bırakılan toplam enerji miktarının belirlenmesi gerekli olmakla birlikte, tek başına yeterli değildir. Klasik dozimetri yaklaşımlarında kullanılan absorbe doz, belirli bir kütlede biriken ortalama enerji miktarını ifade etmekte; ancak enerjinin hücre­sel ve hücre altı yapılarıdaki heterojen dağılımını doğrudan yansıtmamaktadır. Özellikle mikrometre ölçeğindeki hedef hacimlerde enerji bırakım olaylarının kesikli ve rastlantısal özellik göstermesi, aynı absorbe doz değerine sahip radyasyon alanlarının farklı biyolojik etkiler oluşturabilmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle radyasyonun biyolojik etkilerinin daha ayrıntılı değerlendirilmesi, enerji birikiminin mikro ölçekteki dağılım özelliklerinin incelenmesini gerekli kılmaktadır. Mikrodosimetri, iyonlaştırıcı radyasyonun mikroskobik hacimlerde oluşturduğu enerji birikimlerinin istatistiksel özelliklerini inceleyen ve fiziksel doz ile biyolojik etki arasındaki ilişkinin açıklanmasına katkı sağlayan önemli bir bilimsel yaklaşımdır. Lineal enerji, spesifik enerji, enerji bırakımı ve olay frekansı gibi mikrodosimetrik büyüklükler, radyasyonun yalnızca toplam enerji miktarını değil, bu enerjinin biyolojik açıdan anlamlı küçük hacimlerde nasıl dağıldığını da ortaya koymaktadır. Bu özellik, mikrodosimetrisinin özellikle farklı radyasyon kalitelerinin karşılaştırılması, lineer enerji transferi (LET) ve gö­reli biyolojik etkinlik (RBE) ilişkilerinin değerlendirilmesi, radyasyonun hücre­sel etkilerinin açıklanması ve gelişmiş radyoterapi tekniklerinin biyolojik açıdan optimize edilmesi bakımından önemli bir yöntemsel çerçeve oluşturmasını sağlamaktadır (International Commission on Radiation Units and Measurements [ICRU], 1983; Kellerer & Rossi, 1972; Parisi ve ark., 2022).

Mikrodosimetrik büyüklüklerin deneysel olarak belirlenmesi mümkün olmakla birlikte, mikroskobik ölçekte gerçekleşen enerji aktarım olaylarının doğrudan ölçülmesi teknik açıdan güçtür. Bu nedenle Monte Carlo simülasyonları, radyasyonun madde ile etkileşimlerinin ve mikrodosimetrik enerji dağılımlarının modellenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Monte Carlo yöntemleri, parçacıkların saçılma, enerji kaybı, absorpsiyon ve ikincil parçacık üretimi gibi fiziksel süreçlerini stokastik olarak modelleyerek yüksek doğrulukta sonuçların elde edilmesini sağlamaktadır. Bu özellikleri nedeniyle Monte Carlo simülasyonları, hem makroskobik doz hesaplamalarında hem de mikrodosimetrik veri üretiminde temel referans yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, yüksek sayıda parçacık geçmişinin izlenmesi ve büyük hacimli verilerin üretilmesi, önemli hesaplama gücü ve uzun işlem süreleri

gerektirmektedir. Bu durum, özellikle yüksek hacimli simülasyon verilerinin analizinde daha hızlı ve verimli hesaplama yaklaşımlarına duyulan gereksinimi artırmaktadır. Son yıllarda yapay zekâ ve derin öğrenme yöntemlerinde yaşanan gelişmeler, karmaşık fiziksel ve biyolojik veri yapılarının modellenmesine yönelik yeni olanaklar ortaya çıkarmıştır. Derin öğrenme modelleri, çok sayıda değişken arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri doğrudan veriden öğrenebilmekte ve yüksek hesaplama maliyetine sahip fizik tabanlı süreçlerin çıktılarını kısa sürede tahmin edebilecek yaklaşık modellerin geliştirilmesine olanak sağlayabilmektedir. Radyoterapi ve medikal fizik alanında yapay zekâ; doz dağılımı tahmini, tedavi planlaması, görüntü segmentasyonu, organ hareketlerinin öngörülmesi ve radyasyona bağlı biyolojik yanıtların modellenmesi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Ancak mevcut literatürde çalışmaların önemli bir bölümü görüntü tabanlı problemlere ve Convolutional Neural Network (CNN) mimarilerine odaklanırken, mikrodosimetrik verilerin Recurrent Neural Network (RNN) tabanlı yaklaşımlarla modellenmesine ilişkin çalışmalar daha sınırlıdır. RNN mimarileri, önceki girdilerden elde edilen bilgiyi gizli durum aracılığıyla sonraki hesaplamalara aktarabilen yapıları nedeniyle özellikle ardışık ve bağımlı veri örüntülerinin modellenmesinde geliştirilmiştir. RNN, Long Short-Term Memory (LSTM) ve Gated Recurrent Unit (GRU) gibi mimariler; fizyolojik sinyaller, hasta izlem verileri, solunum hareketleri ve radyoterapiye ilişkin zaman bağımlı süreçlerin modellenmesinde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, Monte Carlo simülasyonlarından elde edilen mikrodosimetrik verilerin RNN tabanlı modellerle işlenmesi ve absorbe edilen dozun tahmin edilmesine yönelik araştırmalar henüz gelişmekte olan bir çalışma alanıdır. Bu nedenle fiziksel doğruluğu yüksek Monte Carlo verilerinin yapay zekâ tabanlı modellerle birleştirilmesi, sağlık fiziği açısından önemli bir araştırma potansiyeli taşımaktadır. Bu bölümün amacı, mikrodosimetri, Monte Carlo simülasyonları ve yapay zekâ tabanlı modelleme yaklaşımlarını bütüncül bir çerçevede ele almak ve Monte Carlo simülasyonlarından elde edilen mikrodosimetrik veriler kullanılarak RNN mimarisi ile absorbe doz kestiriminin yöntemsel temelini değerlendirmektir. Bu kapsamda mikrodosimetrisinin temel kavramları, radyoterapide fiziksel doz ile biyolojik etki arasındaki ilişki, Monte Carlo simülasyonlarının mikrodosimetrik veri üretimindeki rolü, yapay zekâ ve RNN mimarilerinin sağlık fiziğindeki kullanım alanları incelenmektedir. Ayrıca 100.000 gözlemden oluşan Monte Carlo tabanlı veri seti üzerinde lineal enerji, enerji bırakımı ve olay frekansı değişkenlerinin kullanıldığı RNN modelleme yaklaşımı; veri ön işleme, normalizasyon, model mimarisi, eğitim süreci ve performans değerlendirmesi açısından ele alınmaktadır. Bu çerçevede temel yaklaşım, yapay zekâyı Monte Carlo simülasyonlarının yerine geçen alternatif bir

yöntem olarak değerlendirmek değil, fiziksel olarak güvenilir simülasyonlardan elde edilen yüksek hacimli verileri öğrenebilen ve hesaplama süreçlerini destekleyebilen tamamlayıcı bir araç olarak konumlandırmaktır. Fizik tabanlı modelleme ile veri tabanlı öğrenme yöntemlerinin bütünleştirilmesi, gelecekte mikrodosimetrik analizlerin hızlandırılması, farklı radyasyon alanlarının daha kapsamlı değerlendirilmesi ve biyolojik etki tahminlerinin geliştirilmesi açısından önemli fırsatlar sunmaktadır. Bununla birlikte, bu tür modellerin klinik veya uygulamalı karar süreçlerine aktarılabilmesi için bağımsız veri setlerinde doğrulanması, farklı radyasyon türleri ve enerji düzeylerinde genellenebilirliğinin gösterilmesi, belirsizlik analizlerinin gerçekleştirilmesi ve fiziksel tutarlılığın korunması gerekmektedir. Bu nedenle yapay zekâ tabanlı mikrodosimetri araştırmalarının geleceği, yalnızca daha yüksek tahmin doğruluğuna sahip modeller geliştirilmesine değil, fiziksel olarak açıklanabilir, güvenilir ve genellenebilir hesaplama yaklaşımlarının oluşturulmasına bağlıdır.

TEMEL KAVRAMLAR VE GÜNCEL LİTERATÜR

İyonlaştırıcı radyasyonun biyolojik sistemler üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde temel fiziksel büyüklük absorbe edilen dozdur. Bununla birlikte absorbe doz, birim kütle başına bırakılan ortalama enerji miktarını ifade ettiğinden, enerjinin hücresel ve hücre altı yapılarıdaki heterojen dağılımını tek başına açıklayamamaktadır. Özellikle mikrometre ölçeğindeki hedef hacimlerde enerji bırakım olaylarının kesikli ve rastlantısal özellik göstermesi, aynı absorbe doz değerine sahip farklı radyasyon alanlarının farklı biyolojik etkiler oluşturabilmesine neden olmaktadır. Bu nedenle klasik dozimetri yaklaşımlarının mikro ölçekteki enerji dağılımlarını inceleyen mikrodosimetrik yöntemlerle desteklenmesi, radyasyonun fiziksel ve biyolojik etkilerinin daha kapsamlı değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır (International Commission on Radiation Units and Measurements [ICRU], 1983; Kellerer & Rossi, 1972). Mikrodosimetri, iyonlaştırıcı radyasyonun mikroskobik hacimlerde oluşturduğu enerji birikimlerinin istatistiksel özelliklerini inceleyen bir radyasyon biyofiziği alanıdır. Mikrodosimetrik yaklaşımda spesifik enerji, lineal enerji, enerji bırakımı ve olay frekansı gibi büyüklükler kullanılarak enerjinin küçük hedef hacimlerdeki dağılım özellikleri değerlendirilmektedir. Bu yaklaşım özellikle yüksek lineer enerji transferine (LET) sahip radyasyonların oluşturduğu biyolojik etkinin açıklanmasında önemlidir. Proton, alfa parçacıkları ve ağır iyonlar gibi yüksek LET özellikli radyasyonlar, enerjilerini kısa mesafelerde yoğun biçimde bırakarak DNA çift zincir kırıkları ve kümelenmiş DNA hasarı gibi onarımı daha güç biyolojik etkiler oluşturabilmektedir. Buna karşılık düşük LET özellikli foton ve elektron radyasyonlarında enerji bırakımı daha seyrek ve geniş bir alana

yayılmaktadır. Dolayısıyla aynı absorbe edilen doz farklı radyasyon türlerinde eşdeğer biyolojik sonuçlar meydana getirmeyebilir. Bu farklılıkların değerlendirilmesinde LET, görel biyolojik etkinlik (RBE) ve mikrodosimetrik büyüklüklerin birlikte ele alınması giderek daha fazla önem kazanmaktadır (Paganetti, 2022; Parisi ve ark., 2022; Hartzell ve ark., 2025). Mikrodosimetrik yaklaşımın önemli uygulama alanlarından biri radyoterapidir. Modern radyoterapinin temel amacı, tümör dokusunda yeterli biyolojik etkiyi oluştururken çevredeki sağlıklı dokuları mümkün olduğunca korumaktır. Klinik planlamada fiziksel doz dağılımı, doz- hacim histogramları ve tümör kontrol olasılığı (TCP) ile normal doku komplikasyon olasılığı (NTCP) gibi biyofiziksel modeller yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak bu modellerin önemli bir bölümü makroskobik doz ve hacim bilgilerine dayandığından, hücre ölçeğindeki enerji dağılım farklılıklarını doğrudan yansıtmamaktadır. Özellikle proton ve ağır iyon tedavilerinde LET ve RBE'nin anatomik konuma göre değişebilmesi, fiziksel doz temelli değerlendirmelerin biyolojik parametrelerle desteklenmesini gerekli kılmaktadır. Güncel literatür, radyoterapi planlamasının geleceğinde fiziksel doz dağılımı, mikrodosimetrik büyüklükler ve biyolojik yanıt modellerinin birlikte değerlendirilmesine yönelik artan bir eğilim bulunduğunu göstermektedir (Lyman, 1985; Bentzen ve ark., 2010; Marks ve ark., 2010; Paganetti, 2022). Mikrodosimetrik enerji dağılımlarının deneysel yöntemlerle belirlenmesi mümkün olmakla birlikte, hücre ölçeğinde gerçekleşen parçacık etkileşimlerinin doğrudan ölçülmesi teknik olarak güçtür. Bu nedenle Monte Carlo simülasyonları, radyasyon taşınımının ve mikrodosimetrik büyüklüklerin hesaplanmasında temel yöntemlerden biri hâline gelmiştir. Monte Carlo yöntemleri, parçacıkların saçılma, enerji kaybı, absorpsiyon ve ikincil parçacık üretimi gibi fiziksel süreçlerini stokastik olarak modelleyerek karmaşık geometrilerde yüksek doğrulukta hesaplamaların yapılmasına olanak sağlamaktadır. Özellikle doku heterojenliklerinin belirgin olduğu anatomik bölgelerde ve proton ya da ağır iyon tedavileri gibi radyasyon kalitesinin değişkenlik gösterdiği uygulamalarda Monte Carlo simülasyonları önemli avantajlar sunmaktadır. Bununla birlikte yüksek sayıda parçacık geçişinin simüle edilmesi, uzun hesaplama süreleri ve yüksek işlem gücü gerektirmesi yöntemin temel sınırlılıklarındandır. Bu nedenle Monte Carlo yöntemlerinin doğruluğunu koruyarak hesaplama süreçlerini hızlandırabilecek veri tabanlı modellerin geliştirilmesi güncel araştırma alanlarından biri hâline gelmiştir (Zobrist ve ark., 2025). Yapay zekâ ve derin öğrenme yöntemlerinin sağlık fiziki ve medikal fizikte kullanımı bu gereksinim doğrultusunda giderek artmaktadır. Derin öğrenme modelleri, yüksek boyutlu verilerdeki karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkileri öğrenebilmekte; radyoterapide görüntü segmentasyonu, doz

dağılımı tahmini, tedavi planlama, organ hareketlerinin öngörülmesi ve biyolojik yanıtların modellenmesi gibi farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Güncel literatürde doz tahmini çalışmalarının önemli bir bölümünde görüntü tabanlı veriler nedeniyle Convolutional Neural Network (CNN) mimarileri ön plana çıkmaktadır. CNN tabanlı modellerin üç boyutlu doz dağılımlarının tahmini ve tedavi planlarının hızlandırılmasında başarılı sonuçlar verdiği bildirilmekle birlikte, fiziksel tutarlılık, model genellenebilirliği, dış doğrulama ve klinik uygulanabilirlik konuları güncelliğini koruyan önemli metodolojik sorunlardır (Jiang ve ark., 2024; Kui ve ark., 2024; Liu ve ark., 2024). Tekrarlayan sinir ağları (Recurrent Neural Networks, RNN), önceki girdilerden elde edilen bilgiyi gizli durum aracılığıyla sonraki hesaplamalara aktarabilen yapay sinir ağı mimarileridir. Bu özellikleri nedeniyle RNN'ler özellikle zaman serileri, ardışık ölçümler ve sıralı veri yapılarının modellenmesinde kullanılmaktadır. Klasik RNN modellerinde uzun dönemli bağımlılıkların öğrenilmesi sırasında ortaya çıkabilen gradyan sönmesi ve gradyan büyümesi problemleri, Long Short-Term Memory (LSTM) ve Gated Recurrent Unit (GRU) gibi geliştirilmiş mimarilerin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Sağlık bilimlerinde RNN tabanlı yöntemler fizyolojik sinyallerin analizi, hasta izlem verilerinin değerlendirilmesi, solunum hareketlerinin tahmini ve radyoterapiye ilişkin ardışık süreçlerin modellenmesinde kullanılmaktadır (Mao ve Sejdic, 2023; Mienye ve ark., 2024; Pohl ve ark., 2025). Güncel çalışmalar, fizik tabanlı hesaplama yöntemleri ile yapay zekâ modellerinin birleştirilmesine yönelik artan bir eğilim bulunduğunu göstermektedir. Bu yaklaşımda amaç, Monte Carlo simülasyonlarını yapay zekâ ile değiştirmek değil, yüksek doğrulukta fiziksel simülasyonlardan elde edilen verileri öğrenebilen modeller geliştirerek hesaplama süreçlerini hızlandırmak ve karmaşık ilişkilerin modellenmesini kolaylaştırmaktır. Fizik-kılavuzlu ve hibrit yapay zekâ modelleri, tahmin performansının yanı sıra fiziksel tutarlılığın ve model güvenilirliğinin artırılması açısından umut verici yaklaşımlar olarak değerlendirilmektedir. Bununla birlikte mikrodosimetrik verilerin RNN tabanlı modellerle işlenmesine ilişkin literatür, görüntü tabanlı doz tahmini çalışmalarına kıyasla oldukça sınırlıdır. Özellikle mikrodosimetrik değişkenler ile absorbe edilen doz arasındaki ilişkilerin veri tabanlı modellerle öğrenilmesi, farklı radyasyon türleri ve enerji düzeylerinde genellenebilirliğin araştırılması, model belirsizliğinin değerlendirilmesi ve bağımsız veri setlerinde doğrulama yapılması gelecekteki çalışmalar açısından önem taşımaktadır. Sonuç olarak güncel literatür, mikrodosimetri, Monte Carlo simülasyonları ve yapay zekâ yöntemlerinin birbirinden bağımsız araştırma alanları olmaktan çıkarak giderek bütünleşen bir bilimsel çerçeve oluşturduğunu göstermektedir. Mikrodosimetri radyasyonun mikro ölçekteki enerji dağılımını ve biyolojik etkisini açıklayan

fiziksel temeli, Monte Carlo simülasyonları yüksek doğrulukta veri üretimini, yapay zekâ modelleri ise büyük ve karmaşık veri kümelerindeki ilişkilerin öğrenilmesini sağlamaktadır. Bu üç yaklaşımın birlikte kullanılması, sağlık fiziği ve radyoterapide daha hızlı, biyolojik açıdan daha anlamlı ve fiziksel olarak güvenilir hesaplama yöntemlerinin geliştirilmesi açısından önemli bir araştırma potansiyeli taşımaktadır.

Monte Carlo Tabanlı Mikrodosimetrik Veri Üretimi ve Yapay Zekâ ile Modellenmesi

Mikrodosimetri, iyonlaştırıcı radyasyonun hücresel ve hücre altı boyutlardaki enerji bırakım özelliklerini inceleyerek makroskobik absorbe doz kavramının ötesinde bir değerlendirme yapılmasına olanak sağlamaktadır. Radyasyonun biyolojik etkisi yalnızca dokuda biriken toplam enerji miktarına değil, enerjinin mikroskobik hedef hacimlerdeki dağılımına, enerji bırakım olaylarının sıklığına ve lokal enerji yoğunluğuna bağlıdır. Bu nedenle lineal enerji, spesifik enerji, enerji bırakımı ve olay frekansı gibi mikrodosimetrik büyüklükler, radyasyonun fiziksel özellikleri ile biyolojik etkileri arasındaki ilişkinin değerlendirilmesinde önemli parametrelerdir. Mikrometre ölçeğindeki enerji aktarım olaylarının deneysel olarak ölçülmesi teknik güçlükler içerdiğinden, Monte Carlo simülasyonları mikrodosimetrik veri üretiminde temel hesaplama yöntemlerinden biri olarak kullanılmaktadır. Monte Carlo yöntemleri, parçacıkların madde içerisindeki taşınımını ve etkileşimlerini stokastik süreçler üzerinden modelleyerek enerji bırakım olaylarının ayrıntılı biçimde hesaplanmasını sağlamaktadır. Parçacıkların saçılması, enerji kaybetmesi, absorbe edilmesi ve ikincil parçacık oluşturması gibi süreçlerin fiziksel etkileşim olasılıklarına dayalı olarak simüle edilmesi, özellikle karmaşık radyasyon alanlarında yüksek doğrulukta hesaplama yapılmasına olanak vermektedir. Bu çalışmanın temel yaklaşımı, Monte Carlo simülasyonlarından elde edilen mikrodosimetrik verilerin yapay zekâ tabanlı bir model kullanılarak işlenmesi ve absorbe edilen dozun tahmin edilmesidir. Yapay zekâ, Monte Carlo simülasyonlarının yerine geçen alternatif bir hesaplama yöntemi olarak değil, fiziksel olarak güvenilir simülasyon çıktılarındaki karmaşık ilişkileri öğrenen ve gelecekte hesaplama süreçlerinin hızlandırılmasına katkı sağlayabilecek tamamlayıcı bir yöntem olarak değerlendirilmiştir. Bu yaklaşım, güncel literatürde giderek önem kazanan fizik tabanlı modelleme ile veri tabanlı öğrenme yöntemlerinin bütünleştirilmesi anlayışıyla uyumludur.

Veri Setinin Yapısı ve Mikrodosimetrik Değişkenler

Çalışmada Monte Carlo simülasyonları ile oluşturulan toplam 100.000 gözlemden oluşan bir veri seti kullanılmıştır. Veri setinde her satır bağımsız bir mikrodosimetrik enerji bırakım olayını temsil etmektedir. Veri yapısı olay kimliği (Event_ID), lineal enerji (Lineal_Energy_keV_um), enerji bırakımı (Energy_Deposition_keV), frekans (Frequency_Hz) ve absorbe edilen doz (Dose_Gy) değişkenlerinden oluşmaktadır. Olay kimliği yalnızca her gözlemin birbirinden ayrılmasını sağlayan tanımlayıcı bir değişken olduğundan yapay zekâ modeline girdi olarak verilmemiştir. Model girdileri lineal enerji, enerji bırakımı ve frekans değişkenlerinden oluşturulmuş; absorbe edilen doz ise tahmin edilmesi amaçlanan bağımlı değişken olarak belirlenmiştir. Lineal enerji, mikroskobik hedef hacimde gerçekleşen tek bir enerji bırakım olayının iz uzunluğuna göre normalize edilmiş büyüklüğünü ifade etmektedir. Bu parametre, enerji aktarımının mikro ölçekteki yoğunluğu hakkında bilgi sağlaması nedeniyle mikrodosimetrimin temel değişkenlerinden biridir. Enerji bırakımı, bir radyasyon etkileşimi sonucunda hedef hacimde biriken toplam enerjiyi göstermektedir. Frekans değişkeni ise enerji bırakım olaylarının meydana gelme sıklığını temsil etmektedir. Bu üç parametrenin birlikte değerlendirilmesi, mikroskobik enerji aktarımının yoğunluğu, büyüklüğü ve gerçekleşme sıklığının aynı model içerisinde temsil edilmesini sağlamaktadır. Absorbe edilen doz değerlerinin oldukça küçük sayısal büyüklüklerde bulunması ve bağımsız değişkenlerin birbirlerinden farklı ölçeklerde dağılması, veri setinin doğrudan yapay sinir ağına verilmesini uygun olmayan bir yaklaşım hâline getirmektedir. Değişkenlerin farklı sayısal aralıklarda bulunması, büyük değerli değişkenlerin modelin ağırlık güncellemeleri üzerinde baskın hâle gelmesine ve eğitim sürecinin kararsızlaşmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle veri ön işleme, modelleme sürecinin temel aşamalarından biri olarak ele alınmıştır. Tezde veri setinin yapısı, değişkenlerin fiziksel anlamları, seçilmiş gözlemler ve tanımlayıcı istatistikler ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan veri seti toplam 100.000 gözlemden oluşmaktadır. Veri setinin büyüklüğü dikkate alındığında, tüm gözlemlerin ayrıntılı biçimde sunulması uygun bulunmamıştır. Bu nedenle, veri kümesini temsil etme gücü yüksek bir örneklem oluşturmak amacıyla, hedef değişken olan absorbe doz dağılımı esas alınarak dağılımın farklı seviyelerini kapsayan bir seçim yaklaşımı benimsenmiştir. Bu kapsamda, veri setinin farklı değer aralıklarını yansıtacak biçimde 20 temsili gözlem belirlenmiştir. Bu seçim yöntemi ile veri setinin yalnızca ilk satırları değil, düşük, orta ve yüksek değer bölgeleri ile uç değerler de birlikte gösterilmiş; böylece modelin eğitildiği veri yapısının aralık, çeşitlilik ve dağılım özellikleri daha akademik ve sistematik bir şekilde sunulması sağlanmıştır. Çizelge 1'de sunulan temsili gözlemler, veri

setinin genel karakterini özetlemekte olup, model eğitiminde kullanılan veri yapısının çok değişkenli ve geniş aralıklı niteliğini ortaya koymaktadır. Bu yapıyı daha nesnel biçimde desteklemek amacıyla, bir sonraki bölümde değişkenlere ait tanımlayıcı istatistikler sunulmuştur.

Tablo 1. Model eğitiminde kullanılan veri setinden seçilmiş 20 temsili gözlem.

Percentil	Olay kimliği	Lineal Enerji (keV/ μm)	Enerji Bırakımı (keV)	Frekans (Hz)	Absorbe Doz (Gy)
0	300	3.165932	0.002620	1.115827e+06	1.000000e-12
5	36742	0.774926	0.137817	1.208917e+06	2.049958e-11
10	8972	0.959026	0.291826	8.673582e+05	3.790788e-11
15	63895	0.797989	0.396829	1.109155e+06	5.436829e-11
20	53099	0.792826	0.536126	1.000205e+06	6.988959e-11
25	17450	2.608478	0.212585	9.574409e+05	8.550431e-11
30	71706	2.062534	0.333749	9.489126e+05	1.019470e-10
35	17833	1.393412	0.635506	8.452361e+05	1.188653e-10
40	59402	1.609081	0.520689	1.016709e+06	1.367477e-10
45	10402	1.161313	0.895976	9.442519e+05	1.562998e-10
50	6756	3.554825	0.306278	1.013533e+06	1.770275e-10
55	84253	6.158327	0.181637	1.117679e+06	2.003464e-10
60	1391	1.541127	0.848473	1.084559e+06	2.267156e-10
65	80479	5.094665	0.400990	7.882533e+05	2.569676e-10
70	3407	4.167212	0.407880	1.077780e+06	2.923897e-10
75	69050	5.991500	0.499667	6.993723e+05	3.363362e-10
80	53136	2.828366	0.990568	8.736540e+05	3.924760e-10
90	92519	5.011775	0.741052	9.776281e+05	5.812488e-10
95	69096	7.011619	0.567726	1.257326e+06	7.987148e-10
100	90929	50.000000	0.994123	1.072280e+06	8.526448e-09

Veri Ön İşleme ve Normalizasyon

Yapay sinir ağlarının başarılı biçimde eğitilebilmesi, kullanılan veri setinin uygun biçimde hazırlanmasına bağlıdır. Çalışmada ilk olarak veri setindeki değişkenlerin veri tipleri, eksik gözlem durumu, sayısal dağılımları ve modelleme açısından uygunlukları değerlendirilmiştir. Model girdisi olarak kullanılmayacak Event_ID değişkeni veri setinden çıkarılmış ve giriş matrisi üç bağımsız değişkenden oluşturulmuştur. Değişkenler arasındaki ölçek farklılıklarının giderilmesi amacıyla Min-Max normalizasyon yöntemi uygulanmıştır. Min-Max normalizasyonunda her değişken kendi minimum ve maksimum değerleri kullanılarak belirli bir sayısal aralığa, genellikle 0 ile 1 arasına dönüştürülmektedir. Böylece yüksek sayısal değerlere sahip değişkenlerin model

eğitimi üzerinde orantısız etkide bulunmasının önüne geçilmesi ve optimizasyon algoritmasının daha kararlı çalışması amaçlanmaktadır. Çalışmada yalnızca giriş değişkenleri değil, çok küçük sayısal değerlere sahip olan absorbe doz değişkeni de normalize edilmiştir. Hedef değişkenin normalize edilmesi, modelin küçük büyüklüklerdeki doz değerlerini öğrenmesini kolaylaştırmış ve eğitim sürecinin sayısal kararlılığını artırmıştır.

Normalizasyon sonrasında veri seti eğitim ve test kümelerine ayrılmıştır. Eğitim veri kümesi model parametrelerinin öğrenilmesinde, test veri kümesi ise modelin eğitim sırasında görmediği gözlemler üzerindeki tahmin performansının değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Bu ayırım, yapay zekâ modellerinin yalnızca eğitim verisini ezberleyip ezberlemediğinin ve yeni veriler üzerinde genellenebilir tahminler üretip üretmediğinin değerlendirilmesi açısından önemlidir.

RNN Giriş Yapısının Oluşturulması

Recurrent Neural Network modelleri üç boyutlu giriş yapısı gerektirmektedir. Bu yapı genel olarak örnek sayısı $\times$ zaman adımı $\times$ özellik sayısı biçiminde tanımlanmaktadır. Çalışmada üç bağımsız değişken bulunduğundan, normalizasyon sonrasında iki boyutlu olan veri matrisi RNN modeline uygun hâle getirilerek (N, 1, 3) boyutuna dönüştürülmüştür. Burada N toplam gözlem sayısını, 1 değeri zaman adımı sayısını ve 3 değeri model girdisi olarak kullanılan lineal enerji, enerji bırakımı ve frekans değişkenlerini göstermektedir. Böylece her mikrodosimetrik gözlem, tek zaman adımında üç özellik içeren bir veri dizisi olarak modele sunulmuştur. Bu veri yapılandırması, çalışmanın önemli metodolojik özelliklerinden biridir. Ancak modelin tek zaman adımıyla çalıştırılması, klasik RNN mimarilerinin temel avantajı olan uzun dönemli ardışık bağımlılıkların öğrenilmesini sınırlamaktadır. Dolayısıyla kullanılan yaklaşım, gerçek bir zaman serisi modellemesinden çok RNN mimarisinin mikrodosimetrik değişkenler arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri öğrenme kapasitesinin araştırıldığı yöntemsel bir uygulama olarak değerlendirilmelidir. Bu durum, sonuçların yorumlanmasında ve gelecekteki araştırmaların tasarlanmasında dikkate alınması gereken temel sınırlılıklardan biridir.

RNN Model Mimarisi

Çalışmada absorbe edilen dozun tahmin edilmesi amacıyla sıralı (Sequential) bir yapay sinir ağı modeli geliştirilmiştir. Model mimarisi bir SimpleRNN katmanı, bir Dense ara katman ve doğrusal aktivasyon fonksiyonuna sahip bir çıkış katmanından oluşturulmuştur. İlk katmanda 32 nöronlu SimpleRNN yapısı kullanılmıştır. Bu katmanın görevi giriş değişkenleri arasındaki karmaşık ve

doğrusal olmayan ilişkilerin öğrenilmesidir. SimpleRNN katmanının ardından 16 nöronlu tam bağlantılı Dense katmanı eklenmiştir. Dense katman, RNN tarafından elde edilen özellik temsilinin daha ileri düzeyde işlenmesini ve absorbe doz tahmini için uygun bir ara temsil oluşturulmasını sağlamaktadır. Modelin son katmanı tek nöronlu doğrusal çıkış katmanıdır. Çalışmanın amacı sürekli bir sayısal büyüklük olan absorbe dozun tahmin edilmesi olduğundan, çıkış katmanında sınıflandırma problemlerinde kullanılan sigmoid veya softmax gibi fonksiyonlar yerine doğrusal aktivasyon kullanılmıştır. Model mimarisi özet olarak şu şekildedir: Mikrodosimetrik Girdiler (3 değişken) → SimpleRNN (32 nöron) → Dense (16 nöron) → Doğrusal Çıkış (1 nöron) → Tahmin Edilen Absorbe Doz

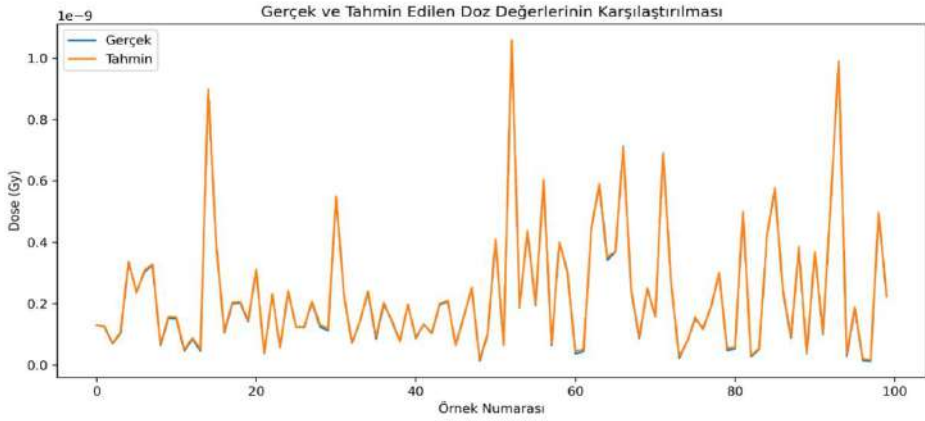
Bu yapı, yüksek karmaşıklıkta bir derin öğrenme mimarisi yerine görece sade ve yorumlanabilir bir model geliştirilmesini sağlamıştır.

Model Eğitimi ve Optimizasyon Süreci

Model eğitiminde Adam optimizasyon algoritması kullanılmıştır. Adam, adaptif öğrenme oranı sağlayan ve yapay sinir ağlarının eğitiminde yaygın biçimde kullanılan optimizasyon algoritmalarından biridir. Özellikle farklı ölçeklerdeki parametre güncellemelerini yönetebilmesi ve hızlı yakınsama sağlayabilmesi nedeniyle tercih edilmiştir. Kayıp fonksiyonu olarak Mean Squared Error (MSE) kullanılmıştır. MSE, gerçek değerler ile model tahminleri arasındaki farkların karelerinin ortalamasını hesaplamaktadır. Büyük tahmin hatalarını daha güçlü biçimde cezalandırması nedeniyle sürekli sayısal değerlerin tahmin edildiği regresyon problemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Model performansının daha kolay yorumlanabilmesi amacıyla ek olarak Mean Absolute Error (MAE) metriği izlenmiştir. MAE, gerçek ve tahmin edilen değerler arasındaki mutlak farkların ortalamasını göstermekte ve model hatasının doğrudan büyüklüğünün değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Model 50 epoch boyunca eğitilmiş ve eğitim sürecinde eğitim ile doğrulama veri kümelerine ait kayıp değerlerinin değişimi izlenmiştir. Eğitim ve doğrulama kayıplarının birlikte değerlendirilmesi, modelin öğrenme davranışının ve aşırı öğrenme eğiliminin incelenmesine olanak sağlamaktadır. Tezde sunulan eğitim ve doğrulama kaybı grafiğinde, başlangıçta yüksek olan hata değerlerinin ilk epochlarda hızlı biçimde azaldığı ve daha sonra düşük seviyelerde kararlı hâle geldiği görülmektedir. Eğitim ve doğrulama kayıplarının birbirine yakın seyretmesi, modelin eğitim verisini öğrenirken doğrulama verilerinde belirgin bir performans kaybı göstermediğine işaret etmektedir. Bununla birlikte bu sonuçların modelin farklı veri setlerinde genellenebilirliğini kanıtlamadığı ve bağımsız dış doğrulama gerektirdiği unutulmamalıdır.

Model Performansının Değerlendirilmesi ve Temel Bulgular

Modelin performansı, eğitim ve doğrulama kayıplarının incelenmesinin yanı sıra test veri kümesindeki gerçek absorbe doz değerleri ile model tarafından tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması yoluyla değerlendirilmiştir. Modelin başarısını yalnızca kayıp grafikleri üzerinden değerlendirmek yeterli görülmemiş; bunun yanında test veri kümesindeki gerçek doz değerleri ile model tarafından tahmin edilen değerlerin doğrudan karşılaştırılması da gerçekleştirilmiştir. Bu değerlendirme, modelin yalnızca ortalama hatayı düşürmekle kalmayıp gerçek veri eğrisinin yapısal karakterini ne ölçüde yeniden üretebildiğini anlamak açısından önemlidir. Bu nedenle Şekil 1’de test veri kümesinden seçilen ilk 100 örneğe ait gerçek ve tahmin edilen doz değerleri aynı grafik üzerinde sunulmuştur.



Şekil 1. Test veri kümesinden seçilen ilk 100 örnekte gerçek ve RNN modeli tarafından tahmin edilen absorbe doz değerlerinin karşılaştırılması

Tezde sunulan gerçek ve tahmin edilen doz değerlerinin karşılaştırıldığı grafik, model tahminlerinin genel olarak gerçek doz değerlerinin değişim örüntüsünü izlediğini göstermektedir. Özellikle düşük ve orta doz aralıklarında gerçek ve tahmin edilen değerlerin önemli ölçüde örtüştüğü, modelin temel doz örüntüsünü öğrenebildiği görülmektedir. Bununla birlikte absorbe doz dağılımının sağa çarpık olması ve yüksek doz değerlerinin veri setinde daha seyrek bulunması, yüksek doz bölgesindeki tahminlerin ayrıca değerlendirilmesini gerektirmektedir. Regresyon modellerinde veri setinin büyük bölümünü oluşturan düşük değerlerde yüksek performans elde edilmesi, nadir görülen uç değerlerde aynı doğruluğun sağlandığı anlamına gelmemektedir. Bu nedenle gelecekte yapılacak çalışmalarda farklı doz aralıklarına özgü hata analizlerinin yapılması, yüksek doz bölgelerindeki performansın ayrıca

değerlendirilmesi ve model belirsizliğinin raporlanması önem taşımaktadır. Çalışmanın bulguları genel olarak değerlendirildiğinde, uygun veri ön işleme ve normalizasyon sonrasında RNN modelinin lineal enerji, enerji bırakımı ve frekans değişkenleri ile absorbe edilen doz arasındaki matematiksel ilişkiyi öğrenebildiği görülmektedir. Modelin gerçek doz değerlerinin genel değişim örüntüsünü takip edebilmesi, Monte Carlo tabanlı mikrodosimetrik verilerin yapay zekâ yöntemleriyle modellenebileceğini göstermesi açısından önemlidir. Ancak bu bulgular, RNN modelinin Monte Carlo simülasyonlarının yerine kullanılabileceği veya mevcut haliyle klinik uygulamalara aktarılabilmesi biçiminde yorumlanmamalıdır. Çalışma, daha çok fiziksel simülasyonlardan elde edilen mikrodosimetrik veriler ile yapay zekâ tabanlı tahmin modellerinin bütünleştirilmesine yönelik yöntemsel bir yaklaşım sunmaktadır. Modelin farklı radyasyon türlerinde, enerji düzeylerinde, geometrilerde ve bağımsız veri setlerinde doğrulanması; fiziksel tutarlılık ve belirsizlik analizlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Tablo 2.RNN modelinin son epoch düzeyindeki eğitim ve doğrulama performans göstergeleri

Çalıştırma	Train Loss	Train MAE	Validation Loss	Validation MAE
1. çalıştırma	1.4152×10^{-5}	0.0028	1.1425×10^{-5}	0.0024
2. çalıştırma	1.2658×10^{-5}	0.0027	1.2055×10^{-5}	0.0028

Çizelge 2 incelendiğinde, iki farklı çalıştırmada elde edilen sonuçların birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu durum, modelin tek seferlik rastlantısal bir başarı göstermediğini, aksine benzer veri ve benzer hiperparametreler altında tekrarlanabilir bir performans ortaya koyduğunu düşündürmektedir. Eğitim ve doğrulama kayıplarının aynı mertebede kalması, modelin eğitim sürecinde aşırı öğrenme göstermediğini desteklemektedir. MAE değerlerinin 0.0024 ile 0.0028 aralığında değişmesi ise modelin normalize edilmiş veri uzayında düşük ortalama mutlak hata ile çalıştığını ortaya koymaktadır.

Bütün bulgular birlikte değerlendirildiğinde, geliştirilen RNN tabanlı yaklaşımın mikrodosimetrik doz tahmini probleminde hem grafiksel hem de sayısal bakımdan başarılı sonuçlar ürettiği söylenebilir. Kayıp grafiği öğrenme sürecinin kararlı olduğunu, gerçek-tahmin karşılaştırma grafiği ise modelin veri örüntülerini yüksek düzeyde yeniden üretebildiğini göstermektedir. Sayısal performans özetleri de bu yorumu desteklemektedir. Dolayısıyla bu çalışma kapsamında geliştirilen model, Monte Carlo tabanlı

mikrodosimetrik verilerin yapay zeka destekli modellenmesi açısından anlamlı, uygulanabilir ve geliştirilebilir bir çerçeve sunmaktadır.

LİTERATÜRÜN ELEŞTİREL DEĞERLENDİRİLMESİ

Mikrodosimetri, Monte Carlo simülasyonları ve yapay zekâ uygulamalarına ilişkin literatür birlikte değerlendirildiğinde, bu alanların son yıllarda hızla gelişmesine rağmen yöntemsel açıdan önemli araştırma boşluklarının bulunduğu görülmektedir. Mikrodosimetri literatürünün temel gücü, makroskobik absorbe doz kavramının açıklamakta yetersiz kaldığı mikroskobik enerji bırakım farklılıklarını fiziksel olarak tanımlayabilmesidir. Özellikle lineal enerji, spesifik enerji ve olay frekansı gibi büyüklüklerin kullanılması; farklı radyasyon kalitelerinin, LET değişimlerinin ve göreceli biyolojik etkinliğin değerlendirilmesinde önemli avantajlar sağlamaktadır. Proton ve ağır iyon tedavilerine yönelik çalışmalar, fiziksel dozun tek başına biyolojik etkinin yeterli bir göstergesi olmadığını ve mikrodosimetrik bilgilerin tedavi planlama araştırmalarına entegrasyonunun giderek önem kazandığını göstermektedir. Bununla birlikte mikrodosimetrik büyüklükler ile klinik sonuçlar arasındaki ilişkinin henüz yeterince doğrulanmamış olması, deneysel ölçüm yöntemleri arasındaki farklılıklar ve standartlaştırılmış veri setlerinin sınırlılığı, alanın temel sorunları arasında yer almaktadır. Monte Carlo simülasyonları, radyasyon taşınımının ve mikroskobik enerji bırakım olaylarının modellenmesinde yüksek fiziksel doğruluk sağlaması nedeniyle literatürde referans yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir. Özellikle heterojen ortamların, karmaşık geometrilerin ve farklı radyasyon türlerinin modellenmesinde analitik veya deterministik hesaplama yöntemlerine kıyasla önemli üstünlükler sunmaktadır. Buna karşılık yüksek hesaplama maliyeti, uzun simülasyon süreleri ve büyük veri hacimleri, Monte Carlo yöntemlerinin özellikle hızlı hesaplama gerektiren uygulamalardaki kullanımını sınırlamaktadır. Güncel araştırmalar GPU tabanlı hesaplama, varyans azaltma yöntemleri ve yapay zekâ destekli yaklaşık modeller aracılığıyla bu sınırlılıkların aşılmasına yönelmektedir. Ancak hesaplama hızının artırılması amacıyla geliştirilen veri tabanlı modellerin fiziksel doğruluğu ne ölçüde koruduğu, eğitim veri dağılımı dışındaki koşullarda nasıl davrandığı ve tahmin belirsizliğinin nasıl değerlendirileceği henüz tam olarak çözülmüş değildir. Yapay zekâ ve derin öğrenmenin radyoterapi ve medikal fizikte kullanımına ilişkin literatür incelendiğinde, araştırmaların önemli bir bölümünün görüntü segmentasyonu, tedavi planlama ve üç boyutlu doz dağılımı tahminine odaklandığı görülmektedir. Özellikle CNN tabanlı mimariler, görüntülerdeki uzaysal örüntüleri öğrenme yetenekleri nedeniyle literatürde baskın durumdadır. Derin öğrenme tabanlı modellerin kısa sürede doz tahmini gerçekleştirebilmesi

ve karmaşık doğrusal olmayan ilişkileri öğrenebilmesi önemli avantajlar sağlamaktadır. Bununla birlikte farklı merkezlerden elde edilen verilerde performans kaybı, eğitim ve test veri kümeleri arasındaki dağılım farklılıkları, bağımsız dış doğrulama çalışmalarının yetersizliği, model belirsizliğinin çoğu çalışmada raporlanmaması ve yapay zekâ modellerinin “kara kutu” niteliği, klinik uygulamaya geçişin önündeki temel sorunlar olmaya devam etmektedir (Jiang ve ark., 2024; Kui ve ark., 2024; Liu ve ark., 2024). RNN, LSTM ve GRU gibi ardışık öğrenme modellerinin sağlık bilimlerindeki kullanımı giderek artmakla birlikte, medikal fizik literatüründe CNN tabanlı yöntemlere kıyasla daha sınırlıdır.

RNN mimarileri özellikle fizyolojik sinyaller, hasta izlem verileri, solunum hareketlerinin tahmini ve zaman içerisinde değişen biyolojik süreçlerin modellenmesinde avantaj sağlamaktadır. Radyoterapide solunum hareketlerinin öngörülmesi ve fiziksel bilgi ile yapay zekânın birleştirildiği hibrit modeller, RNN tabanlı yaklaşımların potansiyelini göstermektedir. Ancak Monte Carlo simülasyonlarından elde edilen mikrodosimetrik verilerin doğrudan RNN modelleriyle işlenerek absorbe doz tahmini yapılmasına yönelik çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu durum, tez çalışmasının literatürdeki araştırma boşluğuyla ilişkili özgün yönlerinden birini oluşturmaktadır. Bununla birlikte tezde kullanılan modelleme yaklaşımının bazı metodolojik sınırlılıkları eleştirel biçimde değerlendirilmelidir. Veri setinin RNN modeline (N, 1, 3) biçiminde sunulması, her gözlemin tek zaman adımında üç özellik içeren bir dizi olarak modellenmesi anlamına gelmektedir. RNN mimarilerinin temel üstünlüğü, ardışık zaman adımları arasındaki bağımlılıkları gizli durum mekanizması aracılığıyla öğrenebilmesidir. Tek zaman adımlı veri yapısında bu özellik sınırlı ölçüde kullanılmaktadır. Dolayısıyla elde edilen başarılı tahmin performansı, RNN’nin uzun dönemli bağımlılıkları öğrenme kapasitesinden çok, ağır mikrodosimetrik değişkenler ile absorbe doz arasındaki doğrusal olmayan ilişkiyi modelleyebilme yeteneğiyle ilişkili olabilir. Bu nedenle gelecekteki çalışmalarda aynı veri seti üzerinde çok katmanlı algılayıcı (MLP), Random Forest, gradient boosting ve diğer regresyon yöntemlerinin yanı sıra LSTM ve GRU modelleriyle karşılaştırmalı analizlerin yapılması, RNN kullanımının gerçekten ek performans avantajı sağlayıp sağlamadığının gösterilmesi açısından gereklidir. Çalışmanın bir diğer önemli sınırlılığı, modelin aynı simülasyon çerçevesinden elde edilen veriler üzerinde geliştirilmesi ve değerlendirilmesidir. Eğitim, doğrulama ve test verilerinin aynı veri üretim mekanizmasından gelmesi, modelin benzer veri dağılımındaki tahmin kapasitesini göstermesine rağmen farklı radyasyon türleri, enerji seviyeleri, geometriler ve mikrodosimetrik koşullar altında genellenebilirliğini kanıtlamamaktadır. Gerçek ve tahmin edilen doz eğrilerinin

yüksek düzeyde örtüşmesi olumlu bir bulgu olmakla birlikte, bu durum tek başına modelin klinik veya farklı fiziksel koşullarda güvenilir olduğunu göstermemektedir. Özellikle veri sızıntısının dışlanması, bağımsız test veri setlerinin kullanılması, çapraz doğrulama yapılması, farklı doz aralıklarında hata analizlerinin gerçekleştirilmesi ve tahmin belirsizliğinin raporlanması model güvenilirliğinin değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır. Genel olarak değerlendirildiğinde tez çalışması, Monte Carlo tabanlı mikrodosimetrik veriler ile yapay zekâ yöntemlerini aynı metodolojik çerçevede birleştirmesi bakımından güncel literatürle uyumlu ve geliştirilebilir bir yaklaşım sunmaktadır. Çalışmanın en önemli katkısı, yapay zekâyı Monte Carlo simülasyonlarının yerine geçen bir yöntem olarak konumlandırmak yerine, fiziksel simülasyonlardan elde edilen yüksek hacimli verileri öğrenebilen tamamlayıcı bir hesaplama aracı olarak ele almasıdır. Bununla birlikte mevcut bulgular, geliştirilen RNN modelinin klinik kullanıma hazır olduğunu veya Monte Carlo hesaplamalarının yerini alabileceğini göstermek için yeterli değildir. Alanın ilerleyebilmesi için fiziksel tutarlılığı koruyan, farklı veri kümelerinde doğrulanmış, belirsizliği ölçülebilen ve alternatif makine öğrenmesi modellerine karşı üstünlüğü gösterilmiş yaklaşımlara ihtiyaç bulunmaktadır. Bu nedenle mikrodosimetri ile yapay zekânın bütünleştirilmesi, önemli bilimsel potansiyel taşıyan ancak klinik ve uygulamalı kullanıma geçmeden önce daha kapsamlı metodolojik doğrulama gerektiren gelişmekte olan bir araştırma alanı olarak değerlendirilmelidir.

KLİNİK/UYGULAMAYA YÖNELİK ÖNERİLER

Mikrodosimetri, Monte Carlo simülasyonları ve yapay zekâ tabanlı modelleme yöntemlerinin birlikte kullanılması, sağlık fiziği ve radyoterapi alanında yeni hesaplama ve karar destek yaklaşımlarının geliştirilmesi açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır. Bununla birlikte, tez kapsamında geliştirilen Recurrent Neural Network (RNN) modelinin mevcut haliyle doğrudan klinik kullanıma hazır bir sistem olarak değerlendirilmesi uygun değildir. Çalışmanın temel katkısı, Monte Carlo simülasyonlarından elde edilen mikrodosimetrik değişkenler ile absorbe edilen doz arasındaki ilişkinin yapay zekâ tabanlı bir model tarafından öğrenilebildiğini göstermesi ve fizik tabanlı simülasyon yöntemleri ile veri tabanlı hesaplama yaklaşımlarının bütünleştirilmesine yönelik yöntemsel bir temel sunmasıdır. Bu nedenle uygulamaya yönelik öneriler, geliştirilen modelin mevcut performansından çok, yaklaşımın sağlık fiziği ve radyoterapi alanında nasıl geliştirilebileceği ve güvenilir biçimde kullanılabileceği çerçevesinde değerlendirilmelidir.

Mikrodosimetrik Analizlerde Hesaplama Sürelerinin Azaltılması

Monte Carlo simülasyonları, radyasyonun madde ile etkileşiminin modellenmesinde ve mikrodosimetrik enerji dağılımlarının hesaplanmasında yüksek fiziksel doğruluk sağlayan temel yöntemlerden biridir. Bununla birlikte yüksek sayıda parçacık geçmişinin simüle edilmesi, mikrometre ölçeğindeki hedef hacimlerin modellenmesi ve yeterli istatistiksel doğruluğa ulaşılması önemli hesaplama süresi ve işlem gücü gerektirmektedir. Bu durum, özellikle çok sayıda farklı enerji düzeyi, radyasyon türü, geometri ve doku özelliğinin araştırıldığı geniş kapsamlı çalışmalarda önemli bir sınırlılık oluşturmaktadır. Yapay zekâ tabanlı modellerin bu alandaki en önemli potansiyel kullanım alanlarından biri, yüksek doğrulukta Monte Carlo simülasyonları kullanılarak oluşturulan veri tabanlarından öğrenen yaklaşık modellerin geliştirilmesidir. Bu yaklaşımda Monte Carlo simülasyonları referans veri üretim yöntemi olarak korunmalı; eğitilen yapay zekâ modelleri ise daha önce doğrulanmış fiziksel koşullara benzer durumlarda hızlı tahmin üreten tamamlayıcı hesaplama araçları olarak kullanılmalıdır. Böylece her yeni değerlendirme için yüksek sayıda parçacığın yeniden simüle edilmesi yerine, önceden oluşturulmuş geniş veri tabanlarından öğrenen modeller aracılığıyla ön tahminler gerçekleştirilebilir. Ancak hesaplama hızının artırılması, fiziksel doğruluğun ikinci plana bırakılması anlamına gelmemelidir. Yapay zekâ modelinin tahminleri belirli aralıklarla Monte Carlo hesaplamaları ile karşılaştırılmalı, modelin eğitim veri dağılımının dışına çıkan fiziksel koşullarda güvenilir tahmin üretip üretmediği değerlendirilmelidir. Özellikle yüksek doz, yüksek lineal enerji ve veri setinde az temsil edilen uç değerlerde model hatalarının ayrıca incelenmesi önerilmektedir.

Radyoterapi Planlama Araştırmalarında Karar Destek Sistemlerinin Geliştirilmesi

Modern radyoterapi planlamasında fiziksel doz dağılımının doğru hesaplanması temel gereklilik olmakla birlikte, radyasyonun biyolojik etkilerinin yalnızca makroskobik absorbe doz üzerinden değerlendirilmesi yeterli değildir. Özellikle proton ve ağır iyon tedavilerinde LET, RBE ve mikrodosimetrik enerji dağılımlarının tedavi alanı boyunca değişebilmesi, biyolojik etkinin fiziksel dozdan bağımsız olarak farklılaşmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle gelecekte geliştirilecek yapay zekâ tabanlı sistemlerin yalnızca absorbe doz tahminiyle sınırlandırılmaması; fiziksel ve biyolojik parametrelerin birlikte değerlendirildiği çok değişkenli karar destek modellerine dönüştürülmesi önerilmektedir. Monte Carlo simülasyonlarından elde edilen fiziksel doz, lineal enerji, enerji bırakımı ve olay frekansı gibi değişkenlerin; LET, RBE, TCP ve NTCP gibi biyolojik ve klinik parametrelerle birleştirilmesi, radyoterapi

planlarının daha kapsamlı biçimde değerlendirilmesine katkı sağlayabilir. Bu tür modeller, tedavi planlama sistemlerinin yerine geçen otomatik karar vericiler olarak değil, klinik fizik uzmanlarının ve radyasyon onkologlarının değerlendirmelerini destekleyen ikincil analiz araçları olarak geliştirilmelidir. Özellikle farklı tedavi planlarının karşılaştırılmasında yapay zekâ modelleri kullanılarak fiziksel doz dağılımının yanı sıra mikrodosimetrik özelliklerin ve olası biyolojik etkilerin hızlı biçimde değerlendirilmesi, gelecekte önemli bir uygulama alanı oluşturabilir. Ancak bu tür karar destek sistemlerinin klinik kullanıma alınabilmesi için çok merkezli veriler üzerinde doğrulanması, farklı cihaz ve tedavi tekniklerine karşı dayanıklılığının gösterilmesi ve klinik sonuçlarla ilişkisinin ortaya konulması gerekmektedir.

Radyoterapide Kalite Güvencesinin Desteklenmesi

Yapay zekâ tabanlı mikrodosimetrik tahmin modellerinin potansiyel kullanım alanlarından biri de radyoterapi kalite güvence süreçleridir. Radyoterapi uygulamalarında hesaplanan doz dağılımlarının doğrulanması, beklenmeyen doz sapmalarının belirlenmesi ve tedavi planlarının fiziksel güvenilirliğinin kontrol edilmesi hasta güvenliği açısından kritik öneme sahiptir. Monte Carlo simülasyonlarından öğrenen yapay zekâ modelleri, tedavi planlama sistemleri tarafından hesaplanan doz değerlerinin bağımsız olarak kontrol edilmesinde yardımcı araçlar olarak kullanılabilir. Model tarafından tahmin edilen değerler ile tedavi planlama sistemi veya Monte Carlo referans hesaplamaları arasında beklenmeyen farklılıkların bulunması, ayrıntılı inceleme gerektiren durumların belirlenmesini sağlayabilir. Bu yaklaşımın özellikle otomatik anomali tespiti sistemleriyle birleştirilmesi yararlı olabilir. Yapay zekâ modeli, normal kabul edilen fiziksel ve mikrodosimetrik dağılımları öğrendikten sonra, beklenen örüntünün dışında kalan hesaplama sonuçlarını işaretleyebilir. Böylece klinik fizik uzmanının değerlendirmesi gereken yüksek riskli veya sıra dışı durumların daha hızlı belirlenmesine katkıda bulunabilir.

Model Doğrulama ve Dış Geçerlilik Süreçlerinin Güçlendirilmesi

Tez kapsamında geliştirilen modelin uygulamaya yönelik olarak geliştirilmesinde en önemli gerekliliklerden biri, bağımsız veri setleri üzerinde dış doğrulamanın gerçekleştirilmesidir. Eğitim, doğrulama ve test verilerinin aynı simülasyon ortamından elde edilmesi, modelin benzer fiziksel koşullardaki tahmin performansını göstermektedir. Ancak bu durum modelin farklı radyasyon türlerinde, enerji seviyelerinde, geometrilere ve doku özelliklerinde aynı performansı göstereceğini kanıtlamamaktadır. Bu nedenle gelecekte model geliştirme süreçlerinde eğitim veri setinden tamamen bağımsız simülasyon

verileri oluşturulması önerilmektedir. Model farklı Monte Carlo kodları, fizik listeleri, parçacık türleri, enerji düzeyleri ve geometriler kullanılarak elde edilen veriler üzerinde değerlendirilmelidir. Özellikle foton verileriyle eğitilen bir modelin proton veya ağır iyon mikrodosimetrik verilerinde doğrudan kullanılması uygun değildir; her radyasyon kalitesi için modelin geçerlilik alanı ayrı olarak tanımlanmalıdır.

Alternatif Yapay Zekâ Modelleriyle Karşılaştırmalı Analizlerin Yapılması

Tez kapsamında SimpleRNN tabanlı bir model kullanılmış ve mikrodosimetrik değişkenlerden absorbe edilen doz tahmini gerçekleştirilmiştir. Ancak kullanılan veri yapısında her gözlemin tek zaman adımı içermesi, RNN mimarisinin ardışık bağımlılıkları öğrenme kapasitesinin tam anlamıyla kullanılmasını sınırlamaktadır. Bu nedenle uygulamaya yönelik model geliştirme çalışmalarında alternatif makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemlerinin sistematik biçimde karşılaştırılması önerilmektedir.

Fiziksel Tutarlılığın Model Geliştirme Sürecine Entegre Edilmesi

Yapay zekâ tabanlı modellerin sağlık fiziki uygulamalarında kullanılmasının önündeki temel sorunlardan biri, model tahminlerinin fiziksel yasalarla her zaman uyumlu olacağının garanti edilememesidir. Yüksek tahmin doğruluğuna sahip bir model, fiziksel olarak mümkün olmayan sonuçlar üretebilir veya eğitim veri dağılımının dışındaki koşullarda beklenmeyen davranışlar gösterebilir.

Model Belirsizliği ve Açıklanabilirliğin Değerlendirilmesi

Klinik ve uygulamalı sağlık fiziki sistemlerinde bir yapay zekâ modelinin yalnızca tahmin üretmesi yeterli değildir. Modelin hangi koşullarda güvenilir tahmin ürettiğinin ve hangi durumlarda hata olasılığının arttığına bilinmesi gerekir. Bu nedenle model belirsizliğinin ölçülmesi ve raporlanması önerilmektedir.

Klinik Kullanıma Geçişte Aşamalı ve Kontrollü Bir Yaklaşımın Benimsenmesi

Yapay zekâ tabanlı mikrodosimetrik modellerin klinik uygulamalara aktarılması aşamalı bir doğrulama süreci gerektirmektedir. İlk aşamada modeller simülasyon verileri üzerinde geliştirilerek bağımsız veri setlerinde test edilmelidir. İkinci aşamada farklı simülasyon kodları ve deneysel mikrodosimetrik ölçümler kullanılarak fiziksel doğrulama gerçekleştirilmelidir.

Daha sonraki aşamada model çıktıları gerçek tedavi planları üzerinde retrospektif olarak değerlendirilmelidir.

Prospektif klinik değerlendirmeye ancak modelin teknik doğruluğu, fiziksel tutarlılığı, genellenebilirliği ve güvenlik sınırları yeterli biçimde gösterildikten sonra geçilmelidir. Bu süreçte tıbbi fizik uzmanları, sağlık fizikçileri, radyasyon onkologları, radyobiologlar, veri bilimcileri ve yapay zekâ uzmanlarının birlikte çalışması gerekmektedir.

GELECEK PERSPEKTİFLERİ VE ARAŞTIRMA ÖNERİLERİ

Mikrodosimetri, Monte Carlo simülasyonları ve yapay zekâ yöntemlerinin bütünleştirilmesi, sağlık fiziği ve radyoterapi araştırmaları açısından gelişmeye açık ve önemli bir çalışma alanıdır. Bu tez kapsamında Monte Carlo tabanlı mikrodosimetrik veriler kullanılarak lineal enerji, enerji bırakımı ve olay frekansı değişkenlerinden absorbe edilen dozun Recurrent Neural Network (RNN) modeli ile tahmin edilmesi, fizik tabanlı hesaplama yöntemleri ile veri tabanlı öğrenme yaklaşımlarının birlikte kullanılabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte mevcut çalışma, bu yaklaşımın klinik veya rutin uygulamalarda kullanılmasından önce çözülmesi gereken yöntemsel ve teknik sorunların bulunduğunu da ortaya koymaktadır. Gelecekteki araştırmaların temel hedefi yalnızca daha düşük tahmin hatasına sahip modeller geliştirmek değil; fiziksel olarak güvenilir, genellenebilir, açıklanabilir ve farklı uygulama koşullarına uyarlanabilir yapay zekâ sistemlerinin oluşturulması olmalıdır. Öncelikli araştırma alanlarından biri, çalışmada kullanılan yapay zekâ mimarisinin alternatif makine öğrenmesi ve derin öğrenme modelleriyle karşılaştırılmasıdır. Tez kapsamında kullanılan SimpleRNN modeli 32 nöronlu tekrarlayan katman, 16 nöronlu Dense katman ve tek nöronlu doğrusal çıkış katmanından oluşmaktadır. Ancak veri setinin (N, 1, 3) biçiminde yapılandırılması nedeniyle her gözlem yalnızca tek zaman adımı içermekte ve RNN mimarisinin ardışık bağımlılıkları öğrenme kapasitesinden sınırlı ölçüde yararlanılmaktadır. Gelecekte aynı veri seti üzerinde doğrusal regresyon, Random Forest, gradient boosting algoritmaları ve çok katmanlı algılayıcı (MLP) gibi temel modeller kullanılarak karşılaştırmalı analizler yapılmalıdır. Ayrıca gerçek ardışık veri yapılarının oluşturulduğu çalışmalarda RNN, Long Short-Term Memory (LSTM), Gated Recurrent Unit (GRU) ve Transformer tabanlı modeller karşılaştırılmalıdır. Böylece daha karmaşık mimarilerin mikrodosimetrik doz tahmininde gerçekten ek performans sağlayıp sağlamadığı gösterilebilir. Gelecekteki çalışmaların ikinci önemli hedefi, veri çeşitliliğinin ve model genellenebilirliğinin artırılmasıdır. Mevcut model aynı simülasyon ortamından elde edilen veriler kullanılarak geliştirilmiş ve değerlendirilmiştir. Bu durum modelin belirli veri dağılımındaki tahmin

performansını göstermesine rağmen farklı fiziksel koşullardaki başarısını ortaya koymamaktadır. Gelecekte fotonların yanı sıra proton, elektron, alfa parçacıkları ve ağır iyonlar gibi farklı radyasyon türlerinin kullanıldığı veri setleri oluşturulmalıdır. Farklı başlangıç enerjileri, hedef hacim boyutları, geometriler, malzeme ve doku özellikleri, ışınlama koşulları ve fizik modelleri kullanılarak daha heterojen veri tabanları geliştirilmelidir. Model performansının eğitim verisinin dışındaki koşullarda sistematik olarak değerlendirilmesi, yapay zekâ modellerinin geçerlilik alanlarının tanımlanmasına katkı sağlayacaktır.

Model doğrulama süreçlerinin geliştirilmesi de gelecekteki araştırmalar açısından temel önceliklerden biridir. Aynı veri üretim mekanizmasından elde edilen eğitim ve test kümeleriyle yapılan değerlendirmeler modelin gerçek genellenebilirliğini göstermek için yeterli değildir. Bu nedenle eğitim sürecinden tamamen bağımsız Monte Carlo simülasyonlarının oluşturulması, farklı simülasyon kodlarından elde edilen verilerin kullanılması ve çapraz doğrulama yöntemlerinin uygulanması önerilmektedir. Daha ileri aşamalarda doku eşdeğeri orantılı sayaçlar, silikon tabanlı mikrodosimetreler ve diğer deneysel sistemlerden elde edilen ölçümlerin model doğrulamasında kullanılması önemlidir. Simülasyon verisi-yapay zekâ tahmini-deneysel ölçüm üçlü karşılaştırmasının yapılması, modelin fiziksel güvenilirliğinin daha güçlü biçimde ortaya konulmasını sağlayabilir. Gelecekteki model geliştirme çalışmalarında fiziksel bilgilerin yapay zekâ sistemlerine doğrudan entegre edilmesi de önemli bir araştırma alanıdır. Geleneksel veri tabanlı modeller, tahmin hatasını en aza indirmeye çalışırken radyasyon taşınımına ilişkin fiziksel yasaları doğrudan dikkate almamaktadır. Bu nedenle yüksek doğrulukta tahmin üreten bir model, bazı koşullarda fiziksel olarak anlamsız sonuçlar verebilir. Fizik-bilgili yapay sinir ağları (Physics-Informed Neural Networks, PINN), fizik-kılavuzlu makine öğrenmesi ve hibrit Monte Carlo-yapay zekâ modelleri bu sorunun azaltılmasına katkı sağlayabilir. Enerji korunumu, dozun negatif değer alamaması, radyasyonun madde içerisindeki enerji kaybına ilişkin temel ilişkiler ve mikrodosimetrik değişkenler arasındaki fiziksel bağımlılıklar model eğitime kısıt olarak eklenebilir. Böylece yalnızca istatistiksel olarak başarılı değil, fiziksel açıdan da daha güvenilir tahmin sistemleri geliştirilebilir. Bir diğer önemli araştırma konusu, yapay zekâ modellerinin tahmin belirsizliğinin belirlenmesidir. Tez kapsamında model performansı MSE ve MAE gibi hata ölçütleri ve gerçek-tahmin karşılaştırmaları üzerinden değerlendirilmiştir. Ancak klinik ve uygulamalı sistemlerde yalnızca tahmin değerinin bilinmesi yeterli değildir; modelin tahmininden ne kadar emin olduğunun da belirlenmesi gerekir. Bayesian sinir ağları, ensemble modeller, Monte Carlo dropout ve conformal prediction gibi yöntemler kullanılarak her tahmin için belirsizlik aralıkları oluşturulabilir.

Modelin eğitim veri dağılımının dışında kalan örnekleri otomatik olarak tanınması ve yüksek belirsizlik durumlarında Monte Carlo simülasyonuna veya uzman değerlendirmesine yönlendirme yapması, güvenli yapay zekâ uygulamalarının geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Açıklanabilir yapay zekâ yöntemlerinin mikrodosimetrik modelleme süreçlerine entegre edilmesi de gelecekte önem kazanacaktır. Yapay zekâ modellerinin yüksek tahmin performansı göstermesi, modelin fiziksel olarak doğru ilişkileri öğrendiği anlamına gelmemektedir. Lineal enerji, enerji bırakımı ve frekans değişkenlerinin absorbe doz tahminine katkıları SHAP, permutation importance ve duyarlılık analizleri gibi yöntemlerle araştırılmalıdır. Modelin belirli değişkenlere verdiği önemin mevcut fiziksel bilgilerle uyumlu olup olmadığı değerlendirilmelidir. Bu yaklaşım, modelin kara kutu niteliğinin azaltılması ve sağlık fizikçileri tarafından daha güvenilir biçimde değerlendirilmesi açısından önem taşımaktadır.

Gelecekte mikrodosimetrik yapay zekâ modellerinin yalnızca absorbe doz tahminiyle sınırlandırılmaması gerekmektedir. Fiziksel doz, lineal enerji, spesifik enerji ve olay frekansı gibi değişkenlerin RBE, DNA hasarı, hücre sağkalımı, tümör kontrol olasılığı ve normal doku komplikasyon olasılığı gibi biyolojik sonuçlarla birleştirilmesi önemli bir araştırma yönüdür. Özellikle proton ve ağır iyon tedavilerinde radyasyon kalitesinin anatomik konuma göre değişmesi, fiziksel ve biyolojik parametrelerin birlikte modellenmesini gerekli kılmaktadır. Çok görevli öğrenme (multi-task learning) modelleri kullanılarak aynı yapay zekâ sistemi içerisinde fiziksel doz, mikrodosimetrik büyüklükler ve biyolojik sonuçların eş zamanlı tahmin edilmesi araştırılabilir. Bu yaklaşım, gelecekte biyolojik olarak yönlendirilmiş radyoterapi planlama sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Son olarak, yapay zekâ destekli mikrodosimetrik sistemlerin klinik ve uygulamalı alanlara aktarılması için aşamalı bir transasyon süreci izlenmelidir. İlk aşamada modeller geniş ve çeşitli simülasyon veri setlerinde geliştirilmeli, ikinci aşamada bağımsız hesaplamalı ve deneysel verilerle doğrulanmalı, daha sonra retrospektif gerçek tedavi planlarında test edilmelidir. Prospektif klinik değerlendirmeye ancak modelin teknik performansı, fiziksel tutarlılığı, genellenebilirliği ve güvenlik sınırları yeterli düzeyde gösterildikten sonra geçilmelidir. Bu süreçte sağlık fizikçileri, medikal fizik uzmanları, radyasyon onkologları, radyobiologlar, bilgisayar bilimcileri ve yapay zekâ araştırmacılarının disiplinler arası iş birliği kritik öneme sahiptir.

SONUÇ

Bu bölümde, Monte Carlo simülasyonları ile üretilen mikrodosimetrik verilerin yapay zekâ tabanlı yöntemlerle modellenebileceği ve RNN tabanlı bir yaklaşımın absorbe doz kestiriminde kullanılabileceği gösterilmiştir. Çalışmada lineal enerji, enerji bırakımı ve olay frekansı değişkenleri kullanılarak absorbe

doz tahmin edilmiş; uygun veri ön işleme ve normalizasyon sonrasında modelin gerçek doz değerlerinin genel değişim örüntüsünü izleyebildiği ortaya konmuştur. Çalışmanın temel katkısı, mikrodosimetri, Monte Carlo simülasyonu ve yapay zekâ yaklaşımlarını aynı yöntemsel çerçevede bir araya getirmesidir. Monte Carlo simülasyonları fiziksel doğruluğu yüksek veri üretimini sağlarken, yapay zekâ modelleri bu verilerdeki karmaşık ve doğrusal olmayan ilişkileri öğrenerek hızlı tahmin sistemlerinin geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Bu yönüyle çalışma, Monte Carlo yöntemlerinin yerine geçen değil, bu yöntemleri destekleyen tamamlayıcı bir hesaplama yaklaşımı önermektedir. Bununla birlikte geliştirilen modelin mevcut haliyle klinik karar aracı olarak kullanılması uygun değildir. Tek zaman adımlı (N, 1, 3) RNN yapısı, modelin gerçek ardışık bağımlılıkları öğrenme kapasitesini sınırlandırmaktadır. Ayrıca verilerin aynı simülasyon ortamından elde edilmiş olması, modelin farklı radyasyon türleri, enerji düzeyleri, geometriler ve doku özellikleri altında genellenebilirliğini kanıtlamak için yeterli değildir.

Sonuç olarak bu çalışma, sağlık fiziğinde fizik tabanlı simülasyonlar ile veri tabanlı öğrenme yöntemlerinin bütünleştirilmesine yönelik güçlü bir yöntemsel başlangıç noktası sunmaktadır. Gelecekte daha çeşitli ve bağımsız veri setleri, alternatif modellerle karşılaştırmalar, fiziksel kısıtların modele entegrasyonu, deneysel doğrulama, belirsizlik analizi ve açıklanabilir yapay zekâ yaklaşımları ile bu modelleme çizgisi daha güvenilir ve uygulanabilir bir araştırma alanına dönüşebilir.

KAYNAKLAR

- Bentzen, S. M., Constine, L. S., Deasy, J. O., Eisbruch, A., Jackson, A., Marks, L. B., Ten Haken, R. K., & Yorke, E. D. (2010). Quantitative analyses of normal tissue effects in the clinic (QUANTEC): An introduction to the scientific issues. *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, 76(3 Suppl), S3-S9. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2009.09.040>
- Hartzell, S., Furutani, K. M., Parisi, A., Sato, T., Kase, Y., Deglow, C., Friedrich, T., & Beltran, C. J. (2025). Impact of microdosimetric modeling on computation of relative biological effectiveness for carbon ion radiotherapy. *Radiation*, 5(2), Article 21. <https://doi.org/10.3390/radiation5020021>
- International Commission on Radiation Units and Measurements. (1983). *Microdosimetry* (ICRU Report 36). ICRU.
- Jiang, C., Ji, T., & Qiao, Q. (2024). Application and progress of artificial intelligence in radiation therapy dose prediction. *Clinical and Translational Radiation Oncology*, 47, Article 100792. <https://doi.org/10.1016/j.ctro.2024.100792>
- Kellerer, A. M., & Rossi, H. H. (1972). The theory of dual radiation action. *Current Topics in Radiation Research Quarterly*, 8, 85-158.
- Kui, X., Liu, F., Yang, M., Wang, H., Liu, C., Huang, D., Li, Q., Chen, L., & Zou, B. (2024). A review of dose prediction methods for tumor radiation therapy. *Meta-Radiology*, 2(1), Article 100057. <https://doi.org/10.1016/j.metrad.2024.100057>
- Liu, J., Zhang, X., Cheng, X., & Sun, L. (2024). A deep learning-based dose prediction method for evaluation of radiotherapy treatment planning. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 17(1), Article 100757. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2023.100757>
- Lyman, J. T. (1985). Complication probability as assessed from dose-volume histograms. *Radiation Research*, 104(2 Suppl), S13-S19.
- Mao, S., & Sejdic, E. (2023). A review of recurrent neural network-based methods in computational physiology. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 34(10), 6983-7003. <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2022.3145365>
- Marks, L. B., Yorke, E. D., Jackson, A., Ten Haken, R. K., Constine, L. S., Eisbruch, A., Bentzen, S. M., Nam, J., & Deasy, J. O. (2010). Use of normal tissue complication probability models in the clinic. *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, 76(3 Suppl), S10-S19. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2009.07.1754>

- Mienye, I. D., Swart, T. G., & Obaido, G. (2024). Recurrent neural networks: A comprehensive review of architectures, variants, and applications. *Information*, 15(9), Article 517. <https://doi.org/10.3390/info15090517>
- Paganetti, H. (2022). Mechanisms and review of clinical evidence of variations in relative biological effectiveness in proton therapy. *International Journal of Radiation Oncology, Biology, Physics*, 112(1), 222-236. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2021.08.015>
- Parisi, G., Romano, F., & Schettino, G. (2022). Microdosimetry for hadron therapy: A state of the art of detection technology. *Frontiers in Physics*, 10, Article 1035956. <https://doi.org/10.3389/fphy.2022.1035956>
- Pohl, M., Uesaka, M., Takahashi, H., Demachi, K., & Bhusal Chhatkuli, R. (2025). Real-time respiratory motion forecasting with online learning of recurrent neural networks for accurate targeting in externally guided radiotherapy. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 269, Article 108828. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2025.108828>
- Zobrist, B., Bertholet, J., Frei, D., Volken, W., Amstutz, F., Stampanoni, M. F. M., Manser, P., Fix, M. K., & Loebner, H. A. (2025). Monte Carlo dose calculation for photon and electron radiotherapy on dynamically deforming anatomy. *Medical Physics*, 52(2), 1281-1292. <https://doi.org/10.1002/mp.17472>

4. Bölüm

Yaşlılarda Sarkopeninin Önlenmesinde Çeşitli Besin Takviyelerinin Kullanımı

Tutku BALCI¹, Dilek ONGAN^{2,3}

ÖZET

Sarkopeni, iskelet kas kütlesi ve fonksiyonunda ilerleyici ve genel bir kayıpla karakterize geriatrik bir sendromdur. Toplumda yaşayan yaşlı yetişkinlerde sarkopeni prevalansına ilişkin tahminler, kullanılan farklı kriterlere bağlı olarak %9,9-40,4 arasında değişiklik göstermektedir. Sarkopeninin başlangıcında ve ilerlemesinde rol oynayabilecek çeşitli mekanizmalar arasında genetik faktörler, metabolik ve yapısal proteinlerin gen ekspresyonu, hormonlar ve inflamatuvar sitokinler yer alırken, kronik hastalıklar, fiziksel hareketsizlik, yetersiz ve dengesiz beslenme, sigara içme, uyku bozukluğu ve alkol tüketimi gibi çevresel faktörler de yer almaktadır. Sarkopeni yaşlı yetişkinlerde fonksiyonel gerileme, engelliğin ve sağlık hizmeti maliyetlerinin artması, düşme ve kırıklar, hastaneye yatış ve ölüm gibi çeşitli olumsuz sağlık sonuçları ile ilişkilidir. Sarkopeninin kesin patogenezi belirsiz kaldığı için şu anda hedefli ilaç tedavileri bulunmamaktadır. Bu sebeple sarkopeninin önlenmesinde ve yönetiminde fiziksel aktivite ve beslenme müdahaleleri önemli etmenler arasında yer almaktadır. Bu derlemede amaç belirli besin takviyelerinin sarkopeni üzerine etkisini değerlendirmektir. Derlemede yer alan çalışmalar son 10 yılda yapılmış PubMed, Scopus ve Google Akademik veri tabanlarında yayımlanan randomize kontrollü çalışmalar ve meta-analizlerden oluşmaktadır. Vaka analizleri, öğrenci tezleri, kesitsel tanımlayıcı çalışmalar ve hayvansal deneyleri içeren çalışmalar dışlanmıştır. İncelenen çalışmalar sarkopeninin kontrol altına alınabilmesi ve yönetilmesi için

¹ İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Beslenme ve Diyetetik Anabilim Dalı Doktora Programı, tutkumbalci@gmail.com

² İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Beslenme ve Diyetetik AB Anabilim Dalı Doktora Programı

³ İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Beslenme ve Diyetetik Bölümü dilek.ongan@ikc.edu.tr

gıda takviyeleri de dahil olmak üzere hedefli beslenme müdahalelerinin gerekliliğini ön plana koymaktadır. Beslenme desteğinde ilk amaç yeterli enerji ve protein alımının sağlanmasıdır. Özellikle yaşlı bireylerde kas kütlesinin ve işlevinin korunması için günde 1,0-1,2 g/kg/gün protein alımı önerilmekte ve diyetle protein alımının Lösin (dallı zincirli amino asit; DZAA) ile desteklenmesinin kas kütlesi ve işlevini geliştirmeye yardımcı olabileceği belirtilmektedir. Diyetle yeterli vitamin ve mineral alımının yanı sıra kas protein metabolizmasına destek olan D vitamini takviyesinin sarkopeninin yönetiminde rol oynayabileceği bildirilmektedir. Düşük serum 25-hidroksivitamin D düzeylerinin kas gücünde azalma, fiziksel performansta düşüş ve sarkopeni prevalansında artışla ilişkili olabileceği bildirilmiştir. Literatür incelendiğinde sarkopeni ile ilişkili en önemli besin öğelerinin protein, omega-3 çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA), D vitamini, antioksidan vitaminler (A, E ve C vitamini), kalsiyum, selenyum, magnezyum ve çinko olduğu belirlenmiştir. Mevcut kanıtlar, özellikle protein ve Lösin desteğinin, D vitamini ve Omega-3 PUFA ile birlikte uygulandığında yaşlı bireylerde kas kütlesi ve fonksiyonunun korunmasında ve sarkopeninin önlenmesinde etkili bir müdahale olabileceğini göstermektedir. Sonuç olarak, mevcut kanıtlar özellikle egzersiz ile kombine olarak uygulanan ve protein, lösin, D vitamini desteği içeren beslenme müdahalelerinin yaşlı bireylerde kas kütlesi ve fonksiyonunun korunmasında ve sarkopeninin önlenmesinde etkili bir strateji olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Sarkopeni; besin takviyeleri; protein; yaşlı beslenmesi

Use of Various Nutritional Supplements for the Prevention of Sarcopenia in Older Adults

ABSTRACT

Sarcopenia is a geriatric syndrome characterized by a progressive and generalized loss of skeletal muscle mass and function. Estimates of sarcopenia prevalence in older adults in the community vary between 9.9% and 40.4% depending on the different criteria used. Various mechanisms may play a role in the onset and progression of sarcopenia, including genetic factors, gene expression of metabolic and structural proteins, hormones, and inflammatory cytokines, as well as environmental factors such as chronic diseases, physical inactivity, inadequate and unbalanced nutrition, smoking, sleep disorders, and alcohol consumption. Sarcopenia is associated with various adverse health outcomes in older adults, including functional decline, increased disability and healthcare costs, falls and fractures, hospitalizations, and death. Since the exact pathogenesis of sarcopenia remains unclear, there are currently no targeted drug therapies. Therefore, physical activity and nutritional interventions are important factors in the prevention and treatment of sarcopenia. The aim of this review is to evaluate the effect of specific nutritional supplements on sarcopenia. The studies included consist of randomized controlled trials and meta-analyses screened in PubMed, Scopus, and Google Scholar databases published over the last 10 years. Case analyses, student dissertations, cross-sectional studies, and animal models were excluded. The studies highlight the necessity of targeted nutritional interventions, including food supplements, for the control and management of sarcopenia. The primary goal of nutritional support is to ensure adequate energy and protein intake. In older adults in particular, a daily protein intake of 1.0-1.2 g/kg is recommended to maintain muscle mass and function, and it is stated that supplementing dietary protein intake with leucine (branched-chain amino acid; DCAA) may help improve muscle mass and function. In addition to adequate dietary vitamin and mineral intake, vitamin D supplementation, which supports muscle protein metabolism, is reported to play a role in the management of sarcopenia. Low serum 25-hydroxyvitamin D levels have been reported to be associated with decreased muscle strength, reduced physical performance, and increased sarcopenia prevalence. A review of the literature reveals that

the most important nutrients associated with sarcopenia are protein, omega-3 fatty acids, vitamin D, antioxidant vitamins (vitamins A, E, and C), calcium, selenium, magnesium, and zinc. Current evidence suggests that protein and leucine supplementation, particularly when combined with vitamin D and omega-3 fatty acids, may be an effective intervention for maintaining muscle mass and function and preventing sarcopenia in older adults. In conclusion, current evidence suggests that nutritional interventions, particularly those combined with exercise, including protein, leucine, and vitamin D supplementation, are an effective strategy for preserving muscle mass and function and preventing sarcopenia in older individuals.

Keywords: Sarcopenia; nutritional supplements; protein; older nutrition

GİRİŞ

Sarkopeni; düşmeler, kırılgnalık, sakatlık, morbidite ve mortalite dahil olmak üzere olumsuz sonuçlara yol açan, yaşlı nüfus arasında yaygın olan önemli bir geriatrik sendromdur (Tu ve ark., 2021). Sarkopeni, iskelet kas kütlelerinin azalmasının, kas kuvvet kaybının ve fiziksel performans düşüklüğünün önemli bir belirtisidir. Yaşla birlikte kas kütlelerinde azalma ve vücut yağında artış gibi vücut kompozisyonunda önemli değişiklikler oluşmaktadır (Tu ve ark., 2021). Bu vücut kompozisyon değişimi 50 yaş üstü bireylerde yaklaşık 1/3 oranında, 70-80 yaş arası bireylerde ise %15'ten yüksek oranlarda görülmektedir. Ortalama olarak, yaşlılarda (60-70 yaş arası) sarkopeninin tahmini yaygınlığı %5-13'tür ve ileri yaşlılarda %50'ye kadar yükselmektedir (Von Haehling ve ark., 2010). Türkiye'de İzmir ilinin Bornova ilçesinde yaşayan 909 yaşlının Avrupa Yaşlılarda Sarkopeni Çalışma Grubu (EWGSOP) yaklaşımına göre sarkopeni prevalansı %5,2 olarak bulunmuştur. Yaş, hareketsizlik, düşük beden kütle indeksi (BKİ) ve yetersiz beslenmenin varlığı veya riski ile birlikte prevalansın arttığı görülmüştür (Şimşek ve ark., 2019). Sarkopeni patofizyolojisi karmaşıktır. Katkıda bulunan faktörlerden bazıları düşük fiziksel aktivite düzeyi, azalan enerji alımı, fibroziste ilerleyici artış, kas metabolizması değişiklikleri, kronik inflamatuvar durum, oksidatif stres olarak örneklendirilebilir (Papadopoulou, 2020). Ayrıca büyüme hormonu, testosteron, tiroid hormonu ve insülin benzeri büyüme faktöründeki yaşa bağlı hormonal değişiklikler de etkili faktörler arasındadır (Papadopoulou, 2020).

Yaşlanmayla birlikte inflamatuvar belirteçlerde meydana gelen artış sonucunda da sarkopeni gelişebilmektedir. İnflamatuvar belirteçlerden tümör nekroz faktörü- α (TNF- α) ve interlökin-6 (IL-6) tarafından üretilen katabolik sinyallerle birlikte kas kütleleri ve gücünde kayıp oluşabilmektedir (Papadopoulou, 2020). Yaşlanmayla ilişkili hormonal düşüşün de kas kütleleri kaybını etkilemesi olasıdır. Erkeklerde testosteron ve kadınlarda östrojen düzeylerinin azalması sarkopeni sürecini olumsuz etkileyebilir (Papadopoulou, 2020). Sarkopeni ile ilgili tanı kılavuzları; başlıca Avrupa Yaşlılarda Sarkopeni Çalışma Grubu (EWGSOP), Uluslararası Sarkopeni Çalışma Grubu (IWGS), Asya Sarkopeni Çalışma Grubu (AWGS) ve Amerikan Ulusal Sağlık Enstitüleri Vakfı (FNIH) kılavuzlarıdır (Patel ve ark., 2013). Yaşlılarda Sarkopeni Üzerine Avrupa

Çalışma Grubu (EWGSOP)'nun 2018 güncellemesine göre; sarkopeninin tanı parametreleri; kas gücü -el kavrama testi ve sandalye kalkma testi yardımıyla, kas miktarı manyetik rezonans görüntüleme (MRG) ve bilgisayarlı tomografi (BT) gibi yöntemlerle- olup, altın standart olarak kabul edilmektedir. Fiziksel performansın değerlendirilmesinde ise yürüme hızı, sarkopeni için güvenilir bir test olarak kabul edilmekte ve pratikte yaygın olarak kullanılmaktadır (Cruz-Jentoft ve ark., 2019). Fakat kılavuzların farklı tanı kriterleri ve ölçüm yöntemleri çalışmalarda bildirilen prevalans oranlarında tutarsızlıklara yol açabilmekte ve çalışmalar arasında sonuçların karşılaştırılmasında zorluklar yaratabilmektedir (Beaudart ve ark., 2025). Bu nedenle Sarkopeni Küresel Liderlik Girişimi (GLIS), sarkopeninin tanımını ve tanı kriterlerini tek bir birleştirici, ortak sınıflandırmaya dönüştürmeyi amaçlayarak ortak rapor yayınlamışlardır (Beaudart ve ark., 2025). Bununla birlikte, anabolik direncin gelişimi de yaşlı bireylerde kas kaybının altında yatan önemli mekanizmalardan biri olarak değerlendirilmektedir. Yaşlanmaya bağlı olarak kas protein sentezinin besin tüketimine verdiği yanıt azalmakta ve bu durum literatürde “anabolik direnç” olarak tanımlanmaktadır (Pérez-Castillo ve ark., 2025). Anabolik direnç protein ve amino asit gibi anabolik uyaranlara karşı kasın duyarlılığının azalması ile karakterizedir. Azalan kas duyarlılığı sebebiyle besin takviyelerinin kullanımı ve eksikliğinin giderilmesi önemlidir (Pérez-Castillo ve ark., 2025).

Sarkopeni erken teşhis edilemezse çeşitli sorunların oluşmasına zemin hazırlayabilir. Yapılan bir çalışmada sarkopenisi olan hastaların, sarkopenisi olmayan hastalara göre ölüm riski, yoğun bakımda kalış süresi ve entübasyon süreleri daha yüksek bulunmuştur (Jiang ve ark., 2022). Sarkopeni tedavisinde egzersiz ve beslenme müdahaleleri farmakolojik olmayan tedavi yöntemleridir. Önde gelen sarkopeni kılavuzları (örneğin, EWGSOP2, AWGS 2019) egzersizi tedavide birincil müdahale olarak desteklemektedir (Chen ve ark., 2020). Egzersiz birincil müdahaledir ancak tek başına yeterli olmayabilir. Yaşlılarda sarkopeni yönetim basamakları hastalığın multifaktöriyel doğası nedeniyle birçok başlıkta ele alınmalıdır. Yaşlılarda Sarkopeni Üzerine Avrupa Çalışma Grubu (EWGSOP) yönetim stratejilerini öncelikle kas gücünü geri kazandırmaya odaklanmasını önermektedir (Chen ve ark., 2020). Çünkü kas gücündeki azalma bu hastalığın temel unsurudur. Egzersiz müdahaleleri özellikle

direnç antrenmanları oldukça önemlidir. Bununla birlikte, yalnızca egzersiz müdahalelerinin sarkopeni yönetiminde yeterli olmayabileceği bildirilmektedir. Yeterli ve dengeli beslenme ile desteklenmelidir (Yang ve ark., 2025). Bununla beraber yaşlanmaya bağlı fizyolojik değişiklikler, iştah azalması, yutma güçlükleri, kronik hastalıklar ve kullanılan ilaçların yan etkileri sonucunda bazen yetersiz besin tüketimi görülür. Bunun sonucunda günlük alınması gereken besin öğelerinde eksiklikler görülebilmektedir. Bu nedenle besin takviyeleri, besin ögesi yetersizliklerinin giderilmesinde, kas protein sentezinin desteklenmesinde ve sarkopeninin önlenmesi veya ilerlemesinin yavaşlatılmasında potansiyel bir yaklaşım olarak ön plana çıkmaktadır. Bu derlemede besin takviyelerinin sarkopeni üzerindeki rolünün değerlendirilmesi amaçlanmıştır (Yang ve ark., 2025, Volkert ve ark., 2019).

YAŞLILARDA SARKOPENİ VE EGZERSİZ

Yaşlıların egzersiz reçeteleri sarkopeniden korunmada ve tedavi yönteminde oldukça önemlidir. Ancak, sarkopeni için egzersiz programları tür bakımından (direnç, aerobik, denge eğitimi veya çok bileşenli vb.) büyük ölçüde farklılık gösterdiği için yaşlı popülasyonda en iyi egzersiz türü henüz belirlenmemiştir (Minobes-Molina ve ark., 2025). Direnç antrenmanı, kas kütlelerini ve gücünü artırmak için iskelet kaslarına ilerleyici uyarılar sağlayan iç yük veya dış ağırlıkların kullanıldığı periyodik bir egzersiz biçimi olarak tanımlanmaktadır (Shen ve ark., 2023). Bu antrenman çeşidi ergenler, sağlıklı yetişkinler, yaşlılar ve klinik popülasyonlar dahil olmak üzere çoğu popülasyon için önerilmektedir. Aynı zamanda yaşlılarda kas kütlelerini ve gücünü artırmak veya korumak gibi çeşitli faydaları bulunmaktadır. Yaşlı popülasyonda kas kütlesi ve gücü sarkopeni ve düşmelerle ilişkili olduğundan, korunması çok önemlidir. Direnç antrenmanı sarkopenili yaşlı bireyler için en faydalı egzersiz biçimlerinden biri olarak tanımlanmıştır (Shen ve ark., 2023). Bir sistematik derlemede, direnç antrenmanının vücut yağ kütlesi, el kavrama gücü, diz uzatma gücü, yürüme hızı ve zamanlı kalkma ve yürüme (TUG) testi üzerinde olumlu etkileri bildirilmiştir (Chen ve ark., 2021).

Dünya Sağlık Örgütü aerobik egzersizi kalp atım hızını artıran ve uzun süre sürdürülebilir fiziksel aktiviteler olarak tanımlamaktadır (WHO, 2020). Kas gücünü ve fiziksel performansı iyileştirmede aerobik

egzersizin etkili olduğu bildirilmiştir (Negm ve ark., 2022). Avrupa Konsensus Kılavuzu'na göre yaşlılarda sarkopeninin önlenmesinde tek tip egzersiz yerine multikomponent egzersiz programları önerilmektedir (Cruz-Jentoft ve ark., 2019). American College of Sports Medicine (ACSM) tarafından önerilen egzersiz reçetesine göre yaşlı bireylerde haftada 2–3 gün, %60–80 yoğunlukta, 8–12 tekrar ve 1–3 setten oluşan direnç egzersizleri ile haftada en az 150 dakika orta şiddette aerobik egzersiz yapılmalıdır (American College of Sports Medicine (ACSM, 2021).

Egzersizizin zorluk ve yoğunluk seviyesinin bireysel olarak özelleştirilmesi, eğitim programının etkili olacak kadar zorlayıcı, ancak güvenli olması yönetimin başlıca kuralıdır (Rodrigues ve ark., 2019). Sonuç olarak, sarkopeni yönetiminde egzersiz tedavisi bireyselleştirilmiş, progresif ve çok bileşenli programlar şeklinde planlanmalı ve yaşlı bireyin fonksiyonel kapasitesini artırmayı hedeflemelidir.

SARKOPENİ VE BESLENME TEDAVİSİ

Yaşlı bireylerde kas kütlesi ve fonksiyon kaybı ile karakterize sarkopeninin yönetiminde beslenme, diğer temel tedavi yaklaşımlarından biri olarak kabul edilmektedir. Beslenme özelinde tüketilen besin miktarı, diyet kalitesi ve yeterli enerji alımı sarkopeninin önleyici faktörleri olarak görülmektedir. Enerji alımındaki azalma, kas atrofisine, kas yorgunluğuna, güçsüzlüğe ve kırılabilirliğe yol açabilir. Düşük enerjili ve dengesiz beslenme yağ doku ve kas kütlesini azaltır. Yaşlılarda ise bu durum geri dönüşümü zor bir kas kaybı ile sonuçlanmaktadır. Aynı zamanda yaşlılıkta aktif gözlenen kronik inflamasyon kas kaybını ilerletebilir. Bu sebeple sarkopenik yaşlılarda diyetin proinflamatuvar etkiden uzak olması gerektiği düşünülebilir (Rodrigues ve ark., 2019., Papadopoulou, 2020). Sarkopeni yönetiminde yüksek antioksidan, antiinflamatuvar bileşenler, Omega-3 yağ asitleri ve yeterli diyet posası alımı ile karakterize olan Akdeniz diyeti etkili olabilir (Papadopoulou ve ark., 2023). Akdeniz diyetinin genel olarak kas kütlesi, fiziksel fonksiyon ve sarkopeni üzerinde olumlu etkiye sahip olabileceği, kas gücü açısından sonuçların daha az tutarlı olduğu sistematik bir derlemede belirtilmiştir (Papadopoulou ve ark., 2023). Sarkopeninin önlenmesi ve yönetiminde yeterli ve dengeli makro besin ögesi alımı büyük önem taşımaktadır.

Özellikle protein alımı kritik bir rol oynamaktadır. Yaşlı bireylerde kas protein sentezine verilen düşük yanıt yani “anabolik direnç” daha yüksek protein alımını gerekli kılmaktadır. Bu nedenle günlük protein alımının yalnızca miktarı değil, aynı zamanda gün içine dengeli dağılımı da önem taşımaktadır. Kas protein sentezinin uyarılması açısından öğün başına yeterli protein alımının sağlanması önerilmektedir. Ayrıca yüksek biyoyararlanıma sahip protein kaynaklarının tercih edilmesi, yaşlı bireylerde kas kütlelerinin korunmasına katkı sağlayabilmektedir (Papadopoulou ve ark., 2023., Kuzuya ve ark., 2025). Bu kapsamda zayıf kanıt düzeyi olmasına rağmen eğer diyetle alınan protein yetersiz ise günlük ek 20-25 gr yüksek kalite protein ile diyetlerin desteklenmesi önerilmektedir (Papadopoulou ve ark., 2023., Kuzuya ve ark., 2025).

Sarkopeni özelinde farklı diyet müdahalelerinden olan MIND diyeti ve ketojenik diyet gibi spesifik beslenme modellerine ilişkin kanıtlar sınırlı olmakla birlikte, MIND diyeti ile ilişkili Akdeniz tipi beslenme modelinin antiinflamatuvar etkileri üzerinden kas fonksiyonu üzerinde olumlu etkiler gösterebileceği düşünülmektedir (Samieri ve ark., 2013).

Ketojenik diyet ise β -hidroksibütirat aracılığıyla inflamasyon ve kas yıkımı üzerinde potansiyel etkilere sahip olsa da sarkopeni üzerine doğrudan klinik kanıtları yetersizdir (Samieri ve ark., 2013., Newman & Verdin, 2017). Sarkopeninin önlenmesinde mikro besin ögeleri de önemli rol oynamaktadır. Özellikle D vitamini, çinko ve selenyum gibi mikro besin ögelerinin kas fonksiyonu, antioksidan savunma ve kas protein metabolizması üzerinde etkili olduğu bilinmektedir (Romani ve ark., 2022). Ancak bu mikro besin ögelerinin sarkopeni üzerindeki etkilerini değerlendiren müdahale çalışmalarının sonuçları sınırlı ve çelişkilidir. Bu nedenle mikro besin ögesi desteklerinin klinik kullanımı, bireysel ihtiyaçlar doğrultusunda ele alınmalıdır (Romani ve ark., 2022).

SARKOPENİDE KULLANILAN BESİN TAKVİYELERİ

Beslenme tedavisinde tamamlayıcı bir yaklaşım olarak kullanılan besin takviyeleri, sarkopeni yönetiminde kas kütlesi ve fonksiyonun korunmasına katkı sağlayabilecek potansiyel stratejiler arasında yer almaktadır. Bunlardan ilki amino asit takviyeleridir; çünkü amino asitler protein sentezi için hammadde görevi görmektedir (Romani ve ark., 2022). Bu nedenle proteinlerin anabolik potansiyelinin amino asit bileşimiyle

ilişkili olduğu öne sürülmüştür (Romani ve ark., 2022). Bu durum, sarkopenili hastalarda plazma lösin, izolösin ve triptofan konsantrasyonlarının azalmış olmasıyla desteklenmektedir (Dai ve ark., 2021). Lösin takviyesinin, sarkopeniye eğilimli yaşlı yetişkinlerde vücut ağırlığı, BKİ ve yağsız vücut kütlesi üzerinde faydalı etkileri bildirilmiştir; ancak kas gücü üzerindeki etkileri çelişkilidir (Liu ve ark., 2023). Sistematik bir derlemede ise lösin açısından zengin protein takviyelerinin, fiziksel aktiviteden bağımsız olarak sarkopeni belirteçlerini iyileştirdiği bildirilmiştir (Komar ve ark., 2015). Mevcut kanıtlar, kas kütlesini artırmak için yaşlı yetişkinlerde daha yüksek lösin alımını önermeye yöneliktir (Komar ve ark., 2015., Rondanelli ve ark., 2016). β -hidroksi- β -metilbütirik asit (HMB), lösinin bir metabolitidir. Kas hasarını azaltmada kritik öneme sahiptir (Newman & Verdin, 2017). Genelde egzersiz üzerinde yapılmış olan çalışmalar ve heterojen sonuçlar sebebiyle sarkopenili hastalarda HMB'nin etkilerini araştırmak için gelecekte fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır ve mevcut kanıtlar, sarkopeniyi hafifletmek için HMB takviyesini önermeyi henüz kesin olarak desteklememektedir (Newman & Verdin, 2017). D vitamini yetersizliği/eksikliği farklı insan popülasyon çalışmalarında kas kütlesi ve kuvvetinde azalma ile ilişkilendirilmiştir (Aspell ve ark., 2019). Bu çalışma D vitamini ile kas sağlığı arasındaki bağlantıyı gösterse de tek başına D vitamini takviyesi ile yapılan müdahale çalışmalarının sonuçları çelişkili bulunmuştur (Aspell ve ark., 2019). Rondanelli ve ark. tarafından gerçekleştirilen randomize kontrollü çalışmada, sarkopenili yaşlılarda 13 hafta boyunca D vitamini, peynir altı suyu proteini ve lösin içeren oral beslenme desteği uygulanmıştır. Çalışma sonucunda müdahale grubunda kas kütlesi ve fiziksel fonksiyonda iyileşmeler görülmüştür. Müdahalenin egzersiz uygulaması olmadan verdiği sonuçlar dikkat çekici bulunmuştur (Rondanelli ve ark., 2016). Bauer ve ark. ise benzer içerikte protein, lösin ve D vitaminini direnç egzersizi ile beraber kullanmıştır. Kombine müdahalenin yalnız sadece kas kütlesinde değil, el kavrama gücü ve fiziksel performans ölçütlerinde de anlamlı iyileşmeler gösterdiği görülmüştür (Bauer ve ark., 2015).

Bu çalışmalar beraber değerlendirildiğinde D vitamini, lösin ve peynir altı suyu takviyesinin kombine kullanımı sarkopenik yaşlıda kas kütlesi artışında anlamlı değişim sağlarken, kas gücü ve performansındaki

kazanımların egzersiz ile birlikte uygulandığında belirgin hale geldiği görülmektedir.

Yaşlanmayla birlikte görülen değişikliklerden biri ise vücudun endojen antioksidan savunma sisteminin bozulmaya açık olmasıdır. Yaşlanma ile beraber vücutta reaktif oksijen türleri (ROS) aşırı birikebilir. İskelet kası atrofisinde doğrudan veya dolaylı olarak rol oynayabilecek oksidatif kas hasarı oluşabilir. Bu sebeple antioksidan olarak görev yapan vitamin ve mineraller sarkopeni tedavisinde takviye olarak önemli bir başlığı oluşturabilir (Xu ve ark., 2025). Selenyum vücudun antioksidan savunma sisteminin temel taşı olan ve glutatyon peroksidaz (GPX) selenoenzim ailesinin yapısal bir bileşeni olan önemli bir eser elementtir. Yaşlılarda yetersiz beslenme sonucunda selenyum seviyelerindeki azalma, bozulmuş antioksidan savunma ve artmış oksidatif stresle bağlantılıdır. Artan oksidatif stres kasta inflamasyon ve mitokondriyal anormallikleri ve buna bağlı olarak sarkopeni riskini artırabilir (Van Dronkelaar ve ark., 2023).

Çinko, vücutta dağılımına göre çoğunluğu (%60) kaslarda bulunan, iskelet kasında bulunduğu kas hücresinin aktivasyonu, proliferasyonu ve farklılaşması üzerine etkileri nedeniyle miyogenezi ve kas rejenerasyonunu etkileyebilen bir mikro besin ögesidir (Hernández-Camacho ve ark., 2020). Çinko eksikliği yaşlı bireylerde sık görülür ve düşük serum çinko seviyeleri kas fonksiyonları ve fiziksel performans ile ilişkilendirilmiştir. Çinko antiinflamatuvar özellikleri sebebiyle kas homeostazının sürdürülmesinde rol oynar. Bu sebeple yaşlılarda çinko parametreleri ve diyetle alımı takip edilmelidir (Abeywickrama ve ark., 2024). Benzer şekilde omega-3 PUFA, özellikle eikosapentaenoik asit, dokosaheksaenoik asit ve alfa-linolenik asidin, inflamatuvar genlerin ekspresyonunu azalttığı ve anti-inflamatuvar aktiviteye sahip olduğu bilinmektedir (Calder, 2017). Sistematik bir derleme ve meta-analiz çalışmasında, omega-3 PUFA'nın yağsız vücut kütlelerini, iskelet kas kütlelerini, kas gücünü artırdığı sonucuna varılmıştır (Bird ve ark., 2021). Yaşlıların tükettiği diyetin omega-3 PUFA miktarının sarkopeni gelişimi ile negatif ilişkili olduğu görülmüştür (Zhang ve ark., 2022). Yapılan bir çalışmada günde 2 gramdan fazla omega-3 yağ asidi takviyesinin, özellikle 6 aydan uzun süredir müdahale olarak alan sarkopenili yaşlı bireylerde kas kütlelerini artırdığı ve yürüme hızını iyileştirdiği görülmüştür (Huang ve ark., 2020). Omega-3 PUFA'nın sarkopeni parametreleri açısından görece daha

fazla çalışma bulunmaktadır. Fakat uygun takviyenin belirlenmesi, dozu ve süresi kişiye göre planlanmalıdır.

Sarkopeni yalnızca kas kütlesindeki azalma ile sınırlı değildir. Kas iskelet sistemi bütünlüğünü etkileyen çok faktörlü bir süreç olduğundan, bağ doku yapısında görev alan bileşenler de bu kapsamda incelenmektedir. Takviye olarak sıklıkla pazarlanan kolajen ise bağ dokunun önemli elemanlarından. Kas bağ dokusunun amino asit dağılımına benzer şekilde büyük miktarda glisin, prolin ve hidrokisprolin içerdiğinden, alımının artırılmasının kas bağ dokusu sentezini büyük ölçüde uyarmaya yardımcı olabileceği, bu sebeple kas kütlesini ve gücünü artırma yönü ile sarkopeniyi iyileştirebileceği öne sürülmüştür. Takviyenin kas kütlesi ve sarkopeni üzerindeki etkileri literatürde tartışılmaktadır. Zdzieblik ve ark. sarkopenili yaşlı erkeklere haftada üç kez egzersiz planlaması ile 12 hafta boyunca günde 15 g kolajen peptidi içeren solüsyon müdahalesinin vücut kompozisyonlarındaki değişikliklere etkisini incelemişlerdir (Zdzieblik ve ark., 2015). Çalışma sonucunda yalnız egzersiz alan plasebo grubunda oluşan 2,9 kg'lık yağsız kütle artışına kıyasla müdahale grubunda ortalama 4,2 kg'lık bir artış olduğu görülmüştür (Zdzieblik ve ark., 2015). Farklı bir çalışmada ise fiziksel aktivite eksikliği ve düşük enerji alımı olan yaşlı yetişkinlere günde iki kez 30 gr peynir altı suyu proteini veya kolajen peptidi takviyesi yapılmıştır. Çalışma sonucunda sadece peynir altı suyu kullanan yaşlıların alt ekstremitelerinde yağsız kütle artışı, sadece kolajen takviyesi alan yaşlılara göre daha belirgin görülmüştür (Oikawa ve ark., 2020a). Başka bir çalışmada ise kolajen takviyesini peynir altı suyu proteinine kıyasla kas protein sentezi üzerine daha belirgin artış ile ilişkilendirmiştir (Oikawa ve ark., 2020b).

Sonuç olarak, egzersiz ile beraber kolajen takviyesi kas kütlesini ve gücünü artırabilir. Ancak kolajenin kazein veya peynir altı suyu proteini gibi geleneksel yüksek kaliteli protein kaynaklarından daha etkili bir şekilde sarkopeniyi iyileştirdiğine dair yeterli kanıt görülmemiştir. İncelenen çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, besin takviyelerinin sarkopeni yönetimindeki etkilerinin özellikle egzersiz ve yeterli protein alımı ile birlikte uygulandığında daha belirgin hale geldiği görülmektedir. Bu nedenle besin takviyelerinin tek başına bir önleme müdahalesi olarak değil, bireyin beslenme durumu ve fiziksel aktivite düzeyi ile birlikte değerlendirilen tamamlayıcı bir strateji olarak ele alınması gerektiği düşünülmektedir.

SONUÇ

Sarkopeni, kas kütlesi, kas gücü ve fiziksel performansta ilerleyici azalma ile karakterize, yaşlanma ile ilişkili olmakla birlikte farklı yaş gruplarında ve çeşitli klinik durumlara bağlı olarak ortaya çıkabilen çok faktörlü bir kas hastalığıdır. Artan yaşlı nüfus ve tanıda zorluklar sebebiyle önemli bir halk sağlığı sorununu oluşturmaktadır. Patofizyolojisinde inflamasyon, hormonal değişiklikler, fiziksel inaktivite ve yetersiz beslenme gibi birçok faktör rol oynamaktadır. Mevcut kanıtlar, sarkopeni yönetiminde en etkili yaklaşımın öncelikle önlemek ve multidisipliner yaklaşımla tedavi olduğunu göstermektedir. Özellikle egzersiz ve beslenme hem sarkopeninin önlenmesinde ve hem de tedavisinde kritik öneme sahiptir. Günlük protein alımının artırılması ve öğünlere dengeli dağıtılması, kas protein sentezinin desteklenmesinde önemli rol oynamaktadır. Besin takviyeleri açısından değerlendirildiğinde; protein ve lösin takviyelerinin özellikle yetersiz protein alımı olan bireylerde kasların korunması ve sarkopeninin ilerlemesini önleme yönleri ile fayda sağladığı, D vitamini eksikliğinin giderilmesinin kas fonksiyonları üzerinde olumlu etkiler oluşturduğu ve omega-3 PUFA'nın antiinflamatuvar özellikleri ile kas sağlığını desteklediği görülmektedir. Bununla birlikte, güncel meta-analizler bu takviyelerin tek başına kullanımının sınırlı etkiler gösterdiğini, en anlamlı sonuçların egzersiz ve beslenme müdahaleleri ile birlikte uygulandığında elde edildiğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, sarkopeninin önlenmesi ve yönetiminde bireyselleştirilmiş, egzersiz temelli ve beslenme destekli yaklaşımlar benimsenmelidir. Gelecekte yapılacak geniş örneklemli ve uzun süreli randomize kontrollü çalışmalara ihtiyaç duyulmakla birlikte, mevcut kanıtlar doğrultusunda erken tanı ve çok yönlü müdahale stratejilerinin yaşlı bireylerde fonksiyonel bağımsızlığın korunmasında belirleyici olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR

- Abeywickrama, H. M., Uchiyama, M., Sumiyoshi, T., Okuda, A., & Koyama, Y. (2024). The role of zinc on nutritional status, sarcopenia, and frailty in older adults: A scoping review. *Nutrition Reviews*, 82(7), 988–1011.
- American College of Sports Medicine. (2021). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription* (11th ed.). Wolters Kluwer.
- Aspell, N., Laird, E., Healy, M., Lawlor, B., & O'Sullivan, M. (2019). Vitamin D deficiency is associated with impaired muscle strength and physical performance in community-dwelling older adults: Findings from the English Longitudinal Study of Ageing. *Clinical Interventions in Aging*, 14, 1751–1761.
- Bauer, J. M., Verlaan, S., Bautmans, I., et al. (2015). Effects of a vitamin D and leucine-enriched whey protein nutritional supplement on measures of sarcopenia in older adults, the PROVIDE study: A randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Journal of the American Medical Directors Association*, 16(9), 740–747.
- Beudart, C., Alcazar, J., Aprahamian, I., Batsis, J. A., Yamada, Y., Prado, C. M., Reginster, J. Y., Sanchez-Rodriguez, D., Lim, W. S., Sim, M., von Haehling, S., Woo, J., Duque, G., & Global Leadership Initiative in Sarcopenia (GLIS) group. (2025). Health outcomes of sarcopenia: A consensus report by the outcome working group of the Global Leadership Initiative in Sarcopenia (GLIS). *Aging Clinical and Experimental Research*, 37(1), 100.
- Bird, J. K., Troesch, B., Warnke, I., & Calder, P. C. (2021). The effect of long chain omega-3 polyunsaturated fatty acids on muscle mass and function in sarcopenia: A scoping systematic review and meta-analysis. *Clinical Nutrition ESPEN*, 46, 73–86.
- Calder, P. C. (2017). Omega-3 fatty acids and inflammatory processes: From molecules to man. *Biochemical Society Transactions*, 45(5), 1105–1115.
- Chen, L. K., Woo, J., Assantachai, P., Auyeung, T. W., Chou, M. Y., Iijima, K., Jang, H. C., Kang, L., Kim, M., Kim, S., et al. (2020). Asian Working Group for Sarcopenia: 2019 consensus update on sarcopenia diagnosis and treatment. *Journal of the American Medical Directors Association*, 21, 300–307.e2.

- Chen, N., He, X., Feng, Y., Ainsworth, B. E., & Liu, Y. (2021). Effects of resistance training in healthy older people with sarcopenia: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *European Review of Aging and Physical Activity*, 18, 23.
- Cruz-Jentoft, A. J., Bahat, G., Bauer, J., Boirie, Y., Bruyère, O., Cederholm, T., Cooper, C., Landi, F., Rolland, Y., Sayer, A. A., Schneider, S. M., Sieber, C. C., Topinkova, E., Vandewoude, M., Visser, M., & Zamboni, M. (2019). Sarcopenia: Revised European consensus on definition and diagnosis. *Age and Ageing*, 48(1), 16–31.
- Dai, M., Lin, T., Yue, J., & Dai, L. (2021). Signatures and clinical significance of amino acid flux in sarcopenia: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Endocrinology*, 12, 725518.
- Hernández-Camacho, J. D., Vicente-García, C., Parsons, D. S., & Navas-Enamorado, I. (2020). Zinc at the crossroads of exercise and proteostasis. *Redox Biology*, 35, 101529.
- Huang, Y. H., Chiu, W. C., Hsu, Y. P., Lo, Y. L., & Wang, Y. H. (2020). Effects of omega-3 fatty acids on muscle mass, muscle strength and muscle performance among the elderly: A meta-analysis. *Nutrients*, 12(12), 3739.
- Jiang, T., Lin, T., Shu, X., Song, Q., Dai, M., Zhao, Y., Huang, L., Tu, X., & Yue, J. (2022). Prevalence and prognostic value of preexisting sarcopenia in patients with mechanical ventilation: A systematic review and meta-analysis. *Critical Care*, 26(1), 140.
- Komar, B., Schwingshackl, L., & Hoffmann, G. (2015). Effects of leucine-rich protein supplements on anthropometric parameter and muscle strength in the elderly: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Nutrition, Health & Aging*, 19(4), 437–446.
- Kuzuya, M., Kanno, Y., Arai, H., Nishiguchi, S., Iijima, K., Umegaki, H., Satake, S., Sato, S., Shinmura, K., Sugimoto, K., Nishikawa, H., Mori, K., Yoshimura, Y., Wakabayashi, H., Inoue, A., Inoue, T., Uedono, H., Uno, C., Okamura, M., Ogawa, S., Ogawa, M., Kadoya, H., Kinoshita, K., Kou, K., Sato, Y., Shojima, K., Suzuki, N., Son, B. K., Tsuda, A., Nagata, K., Nagano, F., Fujita, Y., Maeda, A., Matsui, M., Matsumoto, A., Miyazaki, K., Mori, T., Yasuoka, M., Yamazaki, H., Yamamoto, T., Li, J., & Lyu, W. (2025). Nutritional

- management guidelines for sarcopenia and frailty 2025. *Geriatrics & Gerontology International*, 25, 5–53.
- Liu, S., Zhang, L., & Li, S. (2023). Advances in nutritional supplementation for sarcopenia management. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1189522.
- Minobes-Molina, E., Rierola-Fochs, S., Parés-Martínez, C., Farrés-Godayol, P., Ochandorena-Acha, M., Heras, E., Missé, J., Zambom-Ferraresi, F., Zambom-Ferraresi, F., Ars, J., Terradas-Monllor, M., & Escribà-Salvans, A. (2025). Deepening physical exercise intervention protocols for older people with sarcopenia following establishment of the EWGSOP2 consensus: A systematic review. *Geriatrics*, 10(4), 91.
- Negm, A. M., Lee, J., Hamidian, R., Jones, C. A., & Khadaroo, R. G. (2022). Management of sarcopenia: A network meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of the American Medical Directors Association*, 23, 707–714.
- Newman, J. C., & Verdin, E. (2017). β -Hydroxybutyrate: A signaling metabolite. *Annual Review of Nutrition*, 37, 51–76.
- Oikawa, S. Y., Kamal, M. J., Webb, E. K., McGlory, C., Baker, S. K., & Phillips, S. M. (2020a). Whey protein but not collagen peptides stimulate acute and longer-term muscle protein synthesis with and without resistance exercise in healthy older women: A randomized controlled trial. *American Journal of Clinical Nutrition*, 111(3), 708–718.
- Oikawa, S. Y., MacInnis, M. J., Tripp, T. R., McGlory, C., Baker, S. K., & Phillips, S. M. (2020b). Lactalbumin, not collagen, augments muscle protein synthesis with aerobic exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 52(6), 1394–1403.
- Papadopoulou, S. K. (2020). Sarcopenia: A contemporary health problem among older adult populations. *Nutrients*, 12(5), 1293.
- Papadopoulou, S. K., Detopoulou, P., Voulgaridou, G., Tsoumana, D., Spanoudaki, M., Sadikou, F., Papadopoulou, V. G., Zidrou, C., Chatziprodromidou, I. P., Giaginis, C., & Nikolaidis, P. (2023). Mediterranean diet and sarcopenia features in apparently healthy adults over 65 years: A systematic review. *Nutrients*, 15(5), 1104.

- Patel, H. P., Syddall, H. E., Jameson, K., Robinson, S., Denison, H., Roberts, H. C., & Aihie Sayer, A. (2013). Prevalence of sarcopenia in community-dwelling older people in the UK using the European Working Group on Sarcopenia in Older People (EWGSOP) definition: Findings from the Hertfordshire Cohort Study (HCS). *Age and Ageing*, 42(3), 378–384.
- Pérez-Castillo, Í. M., Rueda, R., Pereira, S. L., Bouzamondo, H., López-Chicharro, J., Segura-Ortiz, F., & Atherton, P. J. (2025). Age-related anabolic resistance: Nutritional and exercise strategies, and potential relevance to life-long exercisers. *Nutrients*, 17(22), 3503.
- Rodrigues, F., Teixeira, D. S., Cid, L., & Monteiro, D. (2019). Promoting physical exercise participation: The role of interpersonal behaviors for practical implications. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 4, 40.
- Romani, M., Berger, M. M., & D'Amelio, P. (2022). From the bench to the bedside: Branched amino acid and micronutrient strategies to improve mitochondrial dysfunction leading to sarcopenia. *Nutrients*, 14(3), 483.
- Rondanelli, M., Klersy, C., Terracol, G., et al. (2016). Whey protein, amino acids, and vitamin D supplementation with physical activity increases fat-free mass and strength, functionality, and quality of life and decreases inflammation in sarcopenic elderly. *American Journal of Clinical Nutrition*, 103(3), 830–840.
- Samieri, C., Morris, M. C., Bennett, D. A., et al. (2013). Mediterranean diet and cognitive function in older adults. *Annals of Neurology*, 74(3), 449–456.
- Shen, Y., Shi, Q., Nong, K., Li, S., Yue, J., Huang, J., Dong, B., Beauchamp, M., & Hao, Q. (2023). Exercise for sarcopenia in older people: A systematic review and network meta-analysis. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 14(3), 1199–1211.
- Şimşek, H., Meseri, R., Sahin, S., Kilavuz, A., Bicakli, D. H., Uyar, M., Savas, S., Sarac, F., & Akcicek, F. (2019). Prevalence of sarcopenia and related factors in community-dwelling elderly individuals. *Saudi Medical Journal*, 40(6), 568–574.

- Tu, D. Y., Kao, F. M., Tsai, S. T., & Tung, T. H. (2021). Sarcopenia among the elderly population: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Healthcare*, 9(6), 650.
- Van Dronkelaar, C., Fultinga, M., Hummel, M., Kruizenga, H., Weijs, P. J. M., & Tieland, M. (2023). Minerals and sarcopenia in older adults: An updated systematic review. *Journal of the American Medical Directors Association*, 24(8), 1163–1172.
- Volkert, D., Beck, A. M., Cederholm, T., Cruz-Jentoft, A., Goisser, S., Hooper, L., Kiesswetter, E., Maggio, M., Raynaud-Simon, A., Sieber, C. C., Sobotka, L., van Asselt, D., Wirth, R., & Bischoff, S. C. (2019). ESPEN guideline on clinical nutrition and hydration in geriatrics. *Clinical Nutrition*, 38(1), 10–47.
- Von Haehling, S., Morley, J. E., & Anker, S. D. (2010). An overview of sarcopenia: Facts and numbers on prevalence and clinical impact. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 1(2), 129–133.
- World Health Organization. (2020). *WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour*. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240015128>
- Xu, H., Brown, J. L., Bhaskaran, S., & Van Remmen, H. (2025). Reactive oxygen species in the pathogenesis of sarcopenia. *Free Radical Biology and Medicine*, 227, 446–458.
- Yang, Y., Pan, N., Luo, J., Liu, Y., & Ossowski, Z. (2025). Exercise and nutrition for sarcopenia: A systematic review and meta-analysis with subgroup analysis by population characteristics. *Nutrients*, 17(14), 2342.
- Zdzieblik, D., Oesser, S., Baumstark, M. W., Gollhofer, A., & König, D. (2015). Collagen peptide supplementation in combination with resistance training improves body composition and increases muscle strength in elderly sarcopenic men: A randomized controlled trial. *British Journal of Nutrition*, 114(8), 1237–1245.
- Zhang, Y., Guo, H., Liang, J., Xiao, W., & Li, Y. (2022). Relationship between dietary omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids level and sarcopenia: A meta-analysis of observational studies. *Frontiers in Nutrition*, 8, 738083.

5. Bölüm

Yüksekte Çalışmalarda İş Sağlığı ve Güvenliğinin Değerlendirilmesi: Uşak İli Örneği¹

Sümeýra ATİLA^{2*}, Pınar ÇAVDAR³

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, Uşak ilinde gerçekleştirilen yüksekte çalışma faaliyetlerinin iş sağlığı ve güvenliği açısından mevcut durumunun farklı açılardan değerlendirilmesidir. Araştırma tanımlayıcı nitelikte olup, ulusal düzeydeki istatistiksel veriler ile saha gözlemlerinin birlikte ele alınmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda öncelikle Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) tarafından yayımlanan iş kazası istatistikleri incelenmiş, özellikle alt seviyeye düşme şeklinde meydana gelen kazalar yüksekte çalışma kapsamında değerlendirilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise Uşak ilinde farklı sektörlerde yürütülen yüksekte çalışma faaliyetleri yerinde gözlemlenmiş, tespit edilen uygunsuz durumlar fotoğraflanarak iş sağlığı ve güvenliği açısından analiz edilmiştir. Yapılan saha incelemeleri, yüksekte çalışma faaliyetlerinde kişisel koruyucu donanım kullanımının artırılmasına, toplu koruma önlemlerinin geliştirilmesine ve güvenli çalışma prosedürlerinin daha etkin şekilde uygulanmasına ihtiyaç olduğunu ortaya koymuştur.

Elde edilen bulgular, yüksekte düşme kaynaklı iş kazalarının hem ulusal verilerde hem de saha uygulamalarında önemli bir risk unsuru olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda, yüksekte çalışma faaliyetlerinde potansiyel tehlikeler ve risklerin en aza düşürülebilmesi için toplu korunma tedbirlerinin sağlanması, çalışanların düzenli olarak eğitime tabi tutulması, uygun koruyucu ekipman kullanımının sağlanması ve denetim mekanizmalarının güçlendirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yüksekte çalışma, düşme, iş sağlığı ve güvenliği, iş kazası.

¹ Bu bölüm V. Uluslararası Sağlık Bilimleri Öğrenci Kongresinde (V. SAGOK 2026) sunulmuş, özet bildirisi olarak yayınlanmıştır.

² İzmir Demokrasi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, İzmir, Türkiye. 2529104001@std.idu.edu.tr.

*Sorumlu yazar

³ İzmir Demokrasi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye. pinar.cavdar@idu.edu.tr

Evaluation Of Occupational Health and Safety in Working At Height: The Case Of Uşak Province

ABSTRACT

The aim of this study is to evaluate the current status of working at height activities carried out in Uşak province from an occupational health and safety perspective through multiple dimensions. The research is descriptive in nature and was conducted by combining national statistical data with field observations. In this context, occupational accident statistics published by the Social Security Institution (SSI) were first examined, and accidents defined as falls to a lower level were evaluated within the scope of working at height.

In the second phase of the study, working at height activities carried out in different sectors in Uşak province were observed on-site, and identified non-compliant situations were photographed and analyzed in terms of occupational health and safety. Field observations revealed the need to improve the use of personal protective equipment, strengthen collective protection measures, and ensure the more effective implementation of safe working procedures in working at height activities.

The findings indicate that accidents caused by falls from height constitute a significant risk factor both in national statistics and in field practices. Accordingly, it is concluded that in order to minimize potential hazards and risks in working at height activities, it is necessary to ensure the implementation of collective protection measures, provide regular training to employees, promote the proper use of protective equipment, and strengthen inspection and supervision mechanisms.

Keywords: Working at height, fall, occupational health and safety, occupational accident.

1. GİRİŞ

İş sağlığı ve güvenliği, çalışma hayatında çalışanların sağlığını korumayı ve iş kazalarını önlemeyi amaçlayan temel bir disiplindir. Günümüzde farklı sektörlerde yürütülen faaliyetler, çeşitli riskleri de beraberinde getirmekte ve bu riskler gerekli önlemler alınmadığında çalışanlar açısından ciddi sonuçlara yol açabilmektedir. Bu nedenle güvenli bir çalışma ortamının oluşturulması, sadece çalışanların korunması açısından değil, aynı zamanda iş süreçlerinin sağlıklı ve sürdürülebilir şekilde devam ettirilmesi açısından da büyük önem taşımaktadır. İş sağlığı ve güvenliği uygulamaları, çalışma ortamındaki tehlikelerin önceden belirlenmesi, risklerin değerlendirilmesi ve uygun kontrol tedbirlerinin uygulanması ile daha güvenli bir çalışma hayatının oluşturulmasına katkı sağlamaktadır (Arıkaya, 2023).

İş kazaları, dünya genelinde olduğu gibi Türkiye’de de önemli bir sorun olmaya devam etmektedir. Özellikle çalışma ortamlarında karşılaşılan fiziksel riskler, ciddi yaralanmalara ve bazı durumlarda ölümlle sonuçlanan kazalara neden olabilmektedir. Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) tarafından yayımlanan veriler incelendiğinde, iş kazalarının belirli risk türleri etrafında yoğunlaştığı ve düşme olaylarının bu kazalar içerisinde önemli bir yer tuttuğu görülmektedir. Bu durum, özellikle belirli çalışma türlerinde risklerin daha dikkatli değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Yüksekte çalışma, çalışanların düşme riski bulunan ve belirli bir seviyenin üzerinde gerçekleştirilen faaliyetleri ifade etmektedir. İnşaat işleri, çatı çalışmaları, iskele üzerinde yapılan uygulamalar ve bakım-onarım faaliyetleri bu kapsama giren başlıca çalışma türleri arasında yer almaktadır. Bu tür çalışmalar, doğası gereği diğer çalışma alanlarına kıyasla daha yüksek risk barındırmakta olup, özellikle düşme kaynaklı kazaların ciddi yaralanma ve ölümlle sonuçlanabilmesi nedeniyle ayrı bir öneme sahiptir (Barışık, 2023). Bu nedenle yüksekte çalışma faaliyetlerinde risklerin doğru şekilde belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması kritik bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır. Yüksekte çalışma faaliyetlerinde karşılaşılan en önemli risklerin başında yüksekte düşme gelmektedir. Bunun yanı sıra kişisel koruyucu donanım kullanımının yetersiz olması, toplu koruma önlemlerinin eksikliği, ekipmanların uygun olmaması ve çalışanların yeterli eğitim almamış olması gibi faktörler de risk düzeyini artırmaktadır. Bu risklerin uygun şekilde yönetilmemesi durumunda ciddi iş kazalarının meydana gelmesi kaçınılmaz hale gelmektedir. Ancak gerekli önlemlerin alınması, bu tür kazaların büyük ölçüde önlenmesini mümkün kılmaktadır (Çalışkan ve ark., 2016).

Bu doğrultuda, bu çalışmanın amacı, Uşak ilinde gerçekleştirilen yüksekte çalışma faaliyetlerinin iş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirilmesi ve mevcut risklerin ortaya konulmasıdır. Çalışmada hem ulusal düzeydeki istatistiksel veriler hem de saha gözlemleri birlikte ele alınarak, yüksekte çalışmalara ilişkin mevcut durumun daha kapsamlı bir şekilde incelenmesi hedeflenmiştir.

1.2. Yüksekte Çalışma Kavramı

Yüksekte çalışma, çalışanların düşme riski bulunan bir seviyede faaliyet gösterdiği ve gerekli önlemler alınmadığı takdirde yaralanma veya ölümlerle sonuçlanabilecek durumları ifade etmektedir. Genel olarak, bir kişinin bulunduğu seviyeden daha aşağıya düşme ihtimalinin olduğu tüm çalışmalar yüksekte çalışma kapsamında değerlendirilmektedir. Bu tür çalışmalar, iş sağlığı ve güvenliği açısından özel önlemler gerektiren faaliyetler arasında yer almaktadır.

Yüksekte çalışma kavramı, ilgili mevzuatta da benzer şekilde ele alınmakta olup, çalışanların düşme riski bulunan ortamlarda gerçekleştirdiği faaliyetler olarak tanımlanmaktadır. Bu kapsamda, çalışma sırasında oluşabilecek risklerin önceden belirlenmesi, uygun ekipmanların kullanılması ve gerekli güvenlik tedbirlerinin alınması büyük önem taşımaktadır (Arıkaya, 2023). Yüksekte çalışma faaliyetleri birçok sektörde yaygın olarak görülmektedir. Özellikle inşaat sektöründe yürütülen çalışmalar, çatı üzerinde yapılan işlemler, iskele üzerinde gerçekleştirilen faaliyetler ve platform kullanılarak yapılan bakım ve onarım işleri bu kapsama giren başlıca örneklerdir. Bu tür faaliyetlerde çalışanların belirli bir yükseklikte bulunması, düşme riskini artırmakta ve alınacak önlemlerin önemini daha da belirgin hale getirmektedir (Demirdağ & Yorulmaz, 2023).

1.3. Yüksekte Çalışmalarda Riskler

Yüksekte gerçekleştirilen çalışmalar, doğası gereği diğer çalışma türlerine kıyasla daha fazla risk barındırmaktadır. Bu çalışmalar sırasında karşılaşılan en önemli tehlike, çalışanların bulundukları seviyeden aşağıya düşmesi olup, bu durum ciddi yaralanmalar ve ölümlerle sonuçlanabilecek kazalara neden olabilmektedir. Düşme riski, yüksekte çalışma faaliyetlerinin en belirleyici risk unsuru olarak öne çıkmaktadır. Bunun yanı sıra, kişisel koruyucu donanım kullanımının yetersiz olması da risk düzeyini artıran önemli faktörlerden biridir. Emniyet kemeri, yaşam hattı ve benzeri koruyucu ekipmanların kullanılmaması veya hatalı kullanılması, olası bir düşme durumunda çalışanların korunmasını zorlaştırmaktadır. Aynı şekilde, çalışma alanlarında toplu koruma önlemlerinin eksik olması, örneğin korkuluk sistemlerinin bulunmaması veya yetersiz olması, düşme riskinin artmasına neden olmaktadır (Dursun, 2016).

Yüksekte çalışmalarda karşılaşılan diğer önemli riskler arasında kullanılan ekipmanların uygun olmaması ve çalışma ortamının güvenli hale getirilmemesi yer almaktadır. Standartlara uygun olmayan iskeleler, sabitlenmemiş platformlar ve düzensiz çalışma yüzeyleri çalışanlar için ek tehlikeler oluşturabilmektedir. Ayrıca çalışanların yüksekte çalışma konusunda yeterli bilgi ve eğitim düzeyine sahip olmamaları da kazaların meydana gelme olasılığını artırmaktadır.

Tüm bu faktörler birlikte değerlendirildiğinde, yüksekte çalışma faaliyetlerinde risklerin çok yönlü olduğu ve bu risklerin etkin şekilde yönetilmesinin büyük önem taşıdığı görülmektedir. Uygun planlama, doğru ekipman kullanımı ve gerekli güvenlik önlemlerinin alınması ile bu risklerin önemli ölçüde azaltılması mümkündür (Çalışkan ve ark., 2016).

1.4. Yüksekte Çalışmanın Önemi

Bu çerçevede değerlendirildiğinde, yüksekte çalışma faaliyetleri çok yönlü riskler barındıran ve dikkatli planlama gerektiren çalışma türleri arasında yer almaktadır. Özellikle yüksekte düşme riski başta olmak üzere, kişisel koruyucu donanım kullanımındaki yetersizlikler, toplu koruma önlemlerinin eksikliği ve uygun olmayan çalışma koşulları, çalışan güvenliğini doğrudan etkileyen unsurlar olarak öne çıkmaktadır (Genç & Ulusoy, 2019). Bu risklerin kontrol altına alınamaması durumunda ciddi iş kazalarının meydana gelmesi söz konusu olabilmektedir. Ancak yüksekte çalışma faaliyetlerinde uygun ekipman kullanımı, gerekli eğitimlerin sağlanması ve çalışma alanlarının güvenli hale getirilmesi ile risklerin önemli ölçüde azaltılması mümkündür. Bu nedenle yüksekte çalışma süreçlerinin iş sağlığı ve güvenliği açısından sistemli bir şekilde ele alınması büyük önem taşımaktadır (Eryaman & Akün, 2023).

2. YÖNTEM

Bu çalışma tanımlayıcı nitelikte olup, yüksekte çalışma faaliyetlerinin iş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirilmesine yönelik olarak gerçekleştirilmiştir. Araştırma iki temel aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) tarafından yayımlanan iş kazası istatistikleri incelenmiş ve özellikle düşme kaynaklı kazalar değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, kişinin bulunduğu seviyeden daha aşağıya düşmesi şeklinde gerçekleşen olaylar yüksekte çalışma kapsamında ele alınmıştır.

Çalışmanın ikinci aşamasında ise Uşak ilinde farklı sektörlerde yürütülen yüksekte çalışma faaliyetleri yerinde gözlemlenmiştir. Yapılan saha incelemeleri sırasında, çalışma alanlarında karşılaşılan uygunsuz durumlar belirlenmiş ve bu durumlar fotoğraflanarak kayıt altına alınmıştır. Elde edilen veriler, iş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirilmiş ve yüksekte çalışmalarda karşılaşılan riskler analiz edilmiştir. Saha çalışması kapsamında gözlemler; kişisel koruyucu donanım kullanımı, toplu koruma önlemlerinin varlığı, çalışma ortamının uygunluğu ve çalışanların sergileyeceği güvenli çalışma davranışları gibi temel kriterler esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu kriterler doğrultusunda elde edilen bulgular, mevcut durumun ortaya konulmasına yönelik olarak yorumlanmıştır.

3. BULGULAR

Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) tarafından yayımlanan iş kazası istatistikleri doğrultusunda, son 10 yıllık döneme ait veriler incelenmiştir. Bu kapsamda Türkiye genelinde sigortalı çalışan sayısının yıllar içerisinde artış gösterdiği görülmektedir. İncelenen dönem boyunca sigortalı çalışan sayısı 20.773.227 ile 26.344.234 arasında değişmekte olup, bu durum çalışma hayatının geniş bir kesimi kapsadığını ortaya koymaktadır. Elde edilen veriler, iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının önemini vurgulamakta ve iş kazalarının değerlendirilmesi açısından veri analizi yapılmasına olanak sağlamaktadır (SGK, 2025).

Tablo 1. 2015-2024 yılları arasında aktif sigortalı çalışan sayılarının dağılımı

Çalışma Yılı	Aktif Çalışan Sayısı
2015	20.773.227
2016	21.131.838
2017	22.280.463
2018	22.072.840
2019	22.000.964
2020	23.344.547
2021	24.745.149
2022	26.344.234
2023	25.358.022
2024	25.625.750

Kaynak: sgk.gov.tr.

Tablo 1 incelendiğinde, 2015–2024 yılları arasında aktif sigortalı çalışan sayısının genel olarak artış eğilimi gösterdiği görülmektedir. 2015 yılında yaklaşık 20,7 milyon olan sigortalı çalışan sayısı, yıllar içerisinde artış göstererek 2022 yılında en yüksek seviyeye ulaşmış ve yaklaşık 26,3 milyon olarak kaydedilmiştir. 2018 ve 2019 yıllarında sınırlı bir düşüş gözlenmekle birlikte, takip eden yıllarda tekrar artış eğilimi devam etmiştir. 2023 yılında küçük bir gerileme yaşansa da 2024 yılında çalışan sayısının yeniden artış gösterdiği görülmektedir (SGK, 2015–2024).

Genel olarak değerlendirildiğinde, incelenen dönem boyunca sigortalı çalışan sayısında belirgin bir artış olduğu ve çalışma hayatına katılımın genişlediği anlaşılmaktadır. Bu durum, iş sağlığı ve güvenliği açısından değerlendirilecek çalışan sayısının da arttığını göstermekte olup, iş kazalarının önlenmesine yönelik uygulamaların daha geniş bir kitleyi kapsamasını gerekli kılmaktadır.

Tablo 2. 2015-2024 yılları arasında kişinin seviyeden alt seviyeye düşmesinden kaynaklı iş kazalarının cinsiyete göre dağılımı

Yıl	Kadın	Erkek	Toplam
2015	2058	12851	14909
2016	2460	14735	17195
2017	3074	17422	20496
2018	3965	20246	24211
2019	4249	21739	25988
2020	3181	16721	19902
2021	4525	21597	26122
2022	3718	20203	23921
2023	2398	18768	21166
2024	2598	19380	21978

Kaynak: sgk.gov.tr.

Tablo 2 incelendiğinde, 2015–2024 yılları arasında kişinin bulunduğu seviyeden alt seviyeye düşmesi sonucu meydana gelen iş kazalarının yıllar içerisinde genel olarak artış eğilimi gösterdiği görülmektedir. 2015 yılında toplam 14.909 olan iş kazası sayısı, 2019 yılında 25.988’e yükselmiş ve bu dönemde belirgin bir artış yaşanmıştır. 2020 yılında geçici bir düşüş gözlenmiş olsa da, 2021 yılında kazaların yeniden artarak 26.122 ile en yüksek seviyeye ulaştığı dikkat çekmektedir. 2021 yılından sonra ise kazalarda kısmi bir azalma eğilimi görülmekle birlikte, 2024 yılı itibarıyla toplam iş kazası sayısının 21.978 olduğu ve yüksek seviyelerde devam ettiği anlaşılmaktadır. Bu durum, yüksekte çalışmalarda düşme kaynaklı kazaların süreklilik gösteren önemli bir risk unsuru olduğunu ortaya koymaktadır (SGK, 2025).

Cinsiyet dağılımı açısından değerlendirildiğinde, iş kazalarının büyük çoğunluğunun erkek çalışanlar arasında meydana geldiği görülmektedir. İncelenen tüm yıllarda erkek çalışanlara ait kaza sayılarının kadın çalışanlara kıyasla belirgin şekilde yüksek olduğu dikkat çekmektedir. Bu durum, yüksekte çalışma faaliyetlerinin daha çok erkek çalışanlar tarafından yürütülmesi ile ilişkilendirilebilir.

Tablo 3. 2015-2024 yılları arasında yüksekten düşme kaynaklı iş kazası ve ölüm sayıları

Yıl	Toplam Kaza Sayısı	İş Kazası Sonucu Ölen Sigortalı Sayısı
2015	14909	191
2016	17195	198
2017	20496	228
2018	24211	261
2019	25988	164
2020	19902	170
2021	26122	162
2022	23921	213
2023	21166	251
2024	21978	271

Tablo 3 incelendiğinde, 2015–2024 yılları arasında yüksekten düşme kaynaklı iş kazası sayılarının yıllar içerisinde dalgalanma göstermekle birlikte genel olarak yüksek seviyelerde seyrettiği görülmektedir. 2015 yılında 14.909 olan kaza sayısı, 2021 yılında 26.122 ile en yüksek seviyeye ulaşmış, sonraki yıllarda ise kısmi bir azalma eğilimi göstermesine rağmen 2024 yılı itibarıyla 21.978 seviyesinde devam etmiştir. Bu durum, yüksekten düşme kaynaklı iş kazalarının süreklilik gösteren önemli bir risk olduğunu ortaya koymaktadır. İş kazası sonucu meydana gelen ölümler açısından değerlendirildiğinde ise, yıllar içerisinde dikkat çekici bir artış eğilimi olduğu görülmektedir. 2015 yılında 191 olan ölüm sayısı, 2018 yılında 261’e yükselmiş, 2019 ve 2021 yıllarında kısmi düşüşler gözlenmesine rağmen 2024 yılında 271 ile incelenen dönem içerisindeki en yüksek seviyeye ulaşmıştır (SGK, 2025).

Yüksekten düşme kaynaklı iş kazalarının yalnızca yaygın olmakla kalmayıp aynı zamanda ölümlerle sonuçlanma açısından da ciddi bir risk oluşturduğu anlaşılmaktadır. Bu durum, yüksekte çalışma faaliyetlerinde alınacak önlemlerin hayati öneme sahip olduğunu açıkça göstermektedir.



Şekil 1. Yüksekte çalışma sırasında toplu ve kişisel koruma önlemlerinin yetersizliği

Şekilde görüldüğü üzere, çalışanların yüksekte çalışma yaptığı sırada herhangi bir düşüş durdurucu sistem kullanmadığı ve çalışma alanında toplu koruma önlemlerinin bulunmadığı dikkat çekmektedir. Ayrıca vinç ile taşınan yükün altında çalışan bulunması, ciddi bir iş kazası riskini ortaya çıkarmaktadır. Bu durum, yüksekte çalışma faaliyetlerinde güvenli çalışma koşullarının sağlanması gerektiğini açıkça göstermektedir. Bu tür uygulamalar, yüksekten düşme riskinin yanı sıra ezilme ve çarpma gibi ek tehlikeleri de beraberinde getirmektedir.



Şekil 2. Forklift ile uygun olmayan ekipman kullanılarak yapılan yüksekte çalışma

Şekilde görüldüğü üzere, çalışanların forklift üzerine yerleştirilen uygun olmayan bir platform ile yüksekte çalışma gerçekleştirdiği görülmektedir. Bu durum, standart dışı ekipman kullanımı nedeniyle ciddi düşme riski oluşturmaktadır. Ayrıca çalışanların herhangi bir kişisel koruyucu donanım kullanmadığı dikkat çekmekte olup, bu durum olası bir düşme halinde ciddi yaralanmalara neden olabilecek riskler barındırmaktadır. Personel kaldırma işlemlerinin uygun ekipmanlar (platform, manlift vb.) ile gerçekleştirilmesi gerekmektedir Hüseyinli & Çulha, 2020).



Şekil 3. Vinç ile personel taşınarak yapılan uygunsuz yüksekte çalışma uygulaması

Şekil 3'te görüldüğü üzere, çalışanların vinç ile askıya alınmış bir platform üzerinde yüksekte çalışma gerçekleştirdiği görülmektedir. Bu durum, uygun olmayan ekipman kullanımı nedeniyle ciddi düşme riski oluşturmaktadır. Ayrıca çalışanların kişisel koruyucu donanım kullanmaması ve platform üzerinde düzenli bir çalışma alanının bulunmaması, iş kazası riskini daha da artırmaktadır. Bu tür uygulamalar, yüksekte çalışma faaliyetlerinde güvenli çalışma koşullarının sağlanmadığını göstermektedir (Kürklü & Görhan, 2014).



Şekil 4. Uygun olmayan iskele ve koruma önlemleri ile gerçekleştirilen yüksekte çalışma

Şekil 4’te görüldüğü üzere, çalışanların uygun olmayan bir platform üzerinde ve herhangi bir toplu koruma önlemi olmaksızın yüksekte çalışma gerçekleştirdiği görülmektedir. Çalışma alanında korkuluk sisteminin bulunmaması ve çalışanların kişisel koruyucu donanım kullanmaması, düşme riskini önemli ölçüde artırmaktadır. Ayrıca üst seviyede yapılan çalışmalar sırasında alt seviyede çalışan bulunması, düşen cisimler nedeniyle ek riskler oluşturmaktadır (Hüseyinli & Çulha, 2020).

Bu çalışma kapsamında elde edilen saha gözlemleri ve Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) verilerinin birlikte değerlendirilmesi sonucunda, yüksekte çalışma faaliyetlerinin ciddi riskler içerdiği belirlenmiştir. Özellikle yüksekte düşme, düşen cisimler, uygun olmayan ekipman kullanımı ve kişisel koruyucu donanım eksikliklerinin öne çıkan risk faktörleri olduğu görülmüştür. Bu doğrultuda, saha gözlemlerine dayalı olarak belirlenen tehlikelerin sistematik bir şekilde analiz edilebilmesi amacıyla Fine-Kinney risk değerlendirme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem kapsamında, her bir tehlike için olasılık ve şiddet değerleri dikkate alınarak risk puanları hesaplanmış ve risklerin öncelik sıralaması belirlenmiştir (Şimşek, 2020).

Tablo 4. Yüksekte çalışma faaliyetlerine ilişkin Fine-Kinney risk analizi sonuçları

Gerçekleşen Faaliyet/ Gerçekleşme Tarihi	Sorumlular	Termin Tarihi	Öncelik Sırası 2	Risk Değeri 2	Şiddet 2	Olasılık 2	Yapılması Gereken Düzeltici / Önleyici Faaliyet
	İşveren / Şantiye Şefi / Saha Sorumlusu	Derhal	Orta Risk	10	5	2	Yüksekte çalışma yapılan tüm açık kenarlara standartlara uygun ana korkuluk, ara korkuluk ve topuk levhasından oluşan toplu koruma sistemi kurulmalı; sistemin sökülmesi veya yer değiştirilmesi yetkisiz kişilerce engellenmeli ve çalışma başlamadan önce günlük saha kontrolleri yapılarak uygunluğu doğrulanmalıdır.
	İşveren / Depo Sorumlusu / Saha Sorumlusu	Derhal	Orta Risk	10	5	2	Yüksekte çalışan tüm personele işe uygun standartta tam vücut emniyet kemeri, çift kollu şok emicili lanyard ve güvenli ankraj noktaları temin edilmeli; ekipmanların zimmet kayıtları tutulmalı, kullanım öncesi görsel kontroller yapılmalı ve emniyet kemeri takılmadan çalışma yapılmasına kesinlikle izin verilmemelidir.
	İşveren / Forklift Operatörü / Saha Sorumlusu	Derhal	Orta Risk	10	5	2	Personel yükseltme işlemleri yalnızca insan kaldırmaya uygun, periyodik kontrolleri yapılmış manlift, personel yükseltme platformu veya onaylı ekipmanlarla gerçekleştirilmelidir. Forklift çataları üzerinde personel kaldırılması yasaklanmalı, operatörler ve saha personeli yazılı talimatla bilgilendirilmeli ve uygunsuz uygulamalar anında durdurulmalıdır.
	İşveren / Vinç Operatörü / Saha Sorumlusu	Derhal	Orta Risk	10	5	2	Vinç ve benzeri yük kaldırma ekipmanları ile personel taşıma uygulaması sonlandırılmalı; yük kaldırma ekipmanları yalnızca tasarımı amaçına uygun kullanılmalıdır. Personel erişimi için uygun manlift veya sertifikalı erişim ekipmanları tercih edilmeli, vinç operasyon sahası emniyet şeridi ile çevrilmeli ve yük altında personel bulunmasına izin verilmemelidir.
	İşveren / Şantiye Şefi / Yetkili İşkele Kurucusu	1 Hafta	Orta Risk	10	5	2	İskeleler yetkili kişiler tarafından standartlara uygun şekilde kurulmalı; platform yüzeyleri tam kapalı olmalı, çaprazlar ve bağlantılar eksiksiz tamamlanmalı, kullanım öncesi kontrol formları düzenlenmeli ve geçici tahta, selpa veya gelişigüzel yüzeyler üzerinde çalışma yapılması engellenmelidir.

Tablo 4. (Devam) Yüksekte çalışma faaliyetlerine ilişkin Fine-Kinney risk analizi sonuçları

Risk Değeri 1	Katlanılamaz Risk	Katlanılamaz Risk	Önemli Risk	Önemli Risk	Önemli Risk
Öncelik Sırası 1	25	25	20	20	20
Şiddet 1	5	5	5	5	5
Olasılık 1	5	5	4	4	4
Etkilenebilecek Kişiler	Yüksekte çalışanlar, alta çalışanlar, ziyaretçiler	Yüksekte çalışanlar	Yüksekte çalışanlar, forklift operatörü	Yüksekte çalışanlar, vinç operatörü, alta çalışanlar	Yüksekte çalışanlar
Risk	Çalışanın açık kenardan alt seviyeye düşmesi sonucu ağır yaralanma, kalıcı sakatlık veya ölüm meydana gelmesi.	Düşüş durdurucu sistem bulunmaması nedeniyle düşme halinde ölümcül veya ağır yaralanmalı iş kazası meydana gelmesi.	Platformun kayması, devrilmesi veya forklift hareketi nedeniyle çalışanın düşmesi sonucu ağır yaralanma veya ölüm meydana gelmesi.	Askı sisteminin salınım yapması, bağlanıtı ekipmanının çözülmesi veya platform dengesinin bozulması nedeniyle düşme sonucu ölüm veya ağır yaralanma meydana gelmesi.	Platform kırılması, yerinden oynaması veya dengesiz yüzey nedeniyle alt seviyeye düşme sonucu ağır yaralanma meydana gelmesi.
Tehlike	Açık kenarlarda korkuluk ve topuk levhası bulunmaması.	Tam vücut emniyet kemeri, bağlanıtı halatı ve yaşam hattı kullanılmaması.	Forklift üzerine uygun olmayan platform yerleştirilerek personel yüksektirilmesi.	Vinç ile askıya alınmış platform üzerinde personel çalıştırılması.	Standart dışı iskele, sabitlenmemiş çalışma yüzeyi kullanılması.
Faaliyet Alanı	Yüksekte çalışma faaliyetleri	Yüksekte çalışma faaliyetleri	Yüksekte çalışma faaliyetleri	Yüksekte çalışma faaliyetleri	Yüksekte çalışma faaliyetleri
NO	1	2	3	4	5

Tablo 4. (Devamı) Yüksekte çalışma faaliyetlerine ilişkin Fine-Kinney risk analizi sonuçları

Gerçekleşen Faaliyet/ Gerçekleşme Tarihi	Sorumlular	Termin Tarihi	Öncelik Sırası 2	Risk Değeri 2	Şiddet 2	Olasılık 2	Yapılması Gereken Düzeltici / Önleyici Faaliyet
	İşveren / Saha Sorumlusu / Forman	1 Hafta	Orta Risk	10	5	2	Yüksekte çalışma yapılan tüm alanların alt kısmı fiziksel bariyer ve uyarı levhaları ile izole edilmeli; yetkisiz girişler engellenmeli, el aletleri için emniyet bağları kullanılmalı, malzeme istifleri güvenli şekilde yapılmalı ve altta personel bulunmayacak şekilde iş organizasyonu planlanmalıdır.
	İşveren / Saha Sorumlusu	1 Hafta	Orta Risk	10	5	2	Çalışma noktasına erişim için sabit merdiven, seyyar iskele, platform veya uygun erişim ekipmanları kullanılmalı; kolon ve kirişlere tırmanarak erişim kesin olarak yasaklanmalı, erişim yolları iş başlamadan önce planlanmalı ve güvenli erişim sağlanmadan iş başlanmamalıdır.
	İşveren / Saha Sorumlusu	1 Ay	Orta Risk	10	5	2	Yüksekte çalışma yapacak tüm personele iş başlamadan önce teorik ve uygulamalı eğitim yetkili kişilerce verilmelidir. Eğitim kayıtları tutulmalı, saha sorumluları tarafından davranış odaklı denetimler yapılmalı, uygunsuz çalışma tespit edildiğinde iş derhal durdurulmalı ve tekrar eğitim uygulanmalıdır.
	İşveren / Saha Sorumlusu	Sürekli Kontrol	Düşük Risk	5	5	1	Yüksekte çalışma öncesinde günlük hava ve saha koşulları değerlendirilmelidir. Rüzgârlı, yağışlı, kaygan veya görüşün yetersiz olduğu durumlarda çalışma ertelenmeli; platform yüzeyleri temiz ve kuru tutulmalı ve çevresel koşullara göre ek koruma tedbirleri uygulanmalıdır.
	İşveren / Saha Sorumlusu	1 Ay	Düşük Risk	5	5	1	Yüksekte çalışma yapılan işler için yazılı acil durum ve kurtarma planı hazırlanmalı; kurtarma ekipmanları hazır bulundurulmalı, görevli personel belirlenmeli, askıda kalma travmasına karşı hızlı müdahale prosedürleri oluşturulmalı ve düzenli tatbikatlar gerçekleştirilmelidir.

Tablo 4. (Devamı) Yüksekte çalışma faaliyetlerine ilişkin Fine-Kinney risk analizi sonuçları

Risk Değeri 1	Önemli Risk	Önemli Risk	Önemli Risk	Önemli Risk	Önemli Risk
Öncelik Sırası 1	20	20	15	15	15
Şiddet 1	5	5	5	5	5
Olasılık 1	4	4	3	3	3
Etkilenebilecek Kişiler	Alta çalışanlar, ziyaretçiler, saha personeli	Yüksekte çalışanlar	Yüksekte çalışanlar, saha personeli	Yüksekte çalışanlar	Yüksekte çalışanlar, kurtarma ekibi
Risk	Alet, malzeme veya yapı elemanlarının alt seviyeye düşmesi sonucu kafa travması, ezilme, kırık veya ölüm meydana gelmesi.	Erişim sırasında denge kaybı, kayma veya tutuma noktasının yetersizliği nedeniyle düşme meydana gelmesi.	Çalışanların yanlış ekipman kullanımı ve güvenliksiz davranışlar nedeniyle iş kazası meydana gelmesi.	Rüzgâr, yağış, kayganlık veya görüş kısıtlılığı nedeniyle denge kaybı ve düşme meydana gelmesi.	Düşme sonrası askıda kalma, geç müdahaleden ağırlaşması ya da ölüm meydana gelmesi.
Tehlike	Üst seviyede çalışma yapılırken a düşen cisimlere karşı önlem alınmaması.	Uygun olmayan erişim yöntemi kullanılması	Yüksekte çalışma eğitimi ve saha gözetiminin yetersiz olması.	Hava şartlarının ve çevresel koşulların dikkate alınmaması.	Acil durum ve kurtarma planının bulunmaması veya uygulanabilir olmaması.
Faaliyet Alanı	Yüksekte çalışma faaliyetleri	Yüksekte çalışma faaliyetleri	Yüksekte çalışma faaliyetleri	Yüksekte çalışma faaliyetleri	Yüksekte çalışma faaliyetleri
NO	6	7	8	9	10

4. TARTIŞMA

Hazırlanan çalışmada, yüksekte çalışma faaliyetleri iş sağlığı ve güvenliği açısından SGK iş kazası verileri, saha gözlemleri ve Fine-Kinney risk değerlendirme sonuçları doğrultusunda değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, yüksekten düşmenin Türkiye'de iş kazaları ve iş kazası sonucu meydana gelen ölümler açısından önemini koruduğunu göstermektedir. Özellikle saha gözlemlerinde yerinde tespit edilen uygun olmayan uygulamalar ile SGK verileri birlikte değerlendirildiğinde, yüksekten düşme kaynaklı kazaların yalnızca bireysel hatalardan değil, teknik ve organizasyonel eksikliklerden de kaynaklandığı görülmektedir (SGK, 2025).

Araştırma kapsamında gerçekleştirilen saha gözlemlerinde açık kenarlarda yeterli korkuluk sistemlerinin bulunmadığı, çalışanların emniyet kemeri ve yaşam hattı gibi düşüş durdurucu sistemleri kullanmadan çalıştıkları, bazı durumlarda ise personelin forklift veya kaldırma ekipmanları ile uygunsuz şekilde yükseğe eriştirildiği belirlenmiştir. Fine-Kinney risk değerlendirmesi sonuçlarında da bu tehlikelerin önemli ve katlanılamaz risk seviyelerinde yer aldığı görülmüştür. Bu durum, yüksekte çalışma faaliyetlerinde risklerin büyük bölümünün uygun mühendislik kontrolleri ve planlama faaliyetleri ile önlenabilir nitelikte olduğunu göstermektedir (Şimşek, 2020).

Barışık (2023) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, yüksekte çalışmalarda uygulanabilecek koruma yöntemleri değerlendirilmiş ve dış korkuluk sistemlerinin en etkili koruma yöntemi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Araştırmacı, güvenlik kriterinin tüm değerlendirme kriterleri içerisinde en yüksek öneme sahip olduğunu belirtmiştir. Hazırlanan çalışmada elde edilen saha bulguları da bu sonuçları desteklemektedir. Özellikle korkuluk eksikliklerinin tespit edildiği alanlarda düşme risklerinin belirgin şekilde arttığı görülmüş olup, yüksekte çalışma faaliyetlerinde toplu koruma önlemlerinin kişisel koruyucu donanımlardan önce değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir. Bu bulgu, risk kontrol hiyerarşisinin yüksekte çalışma faaliyetleri açısından önemini ortaya koymaktadır.

Genç ve Ulusoy (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise yüksekte çalışan işçilerin iş sağlığı ve güvenliği farkındalıklarının eğitim düzeyi ile ilişkili olduğu belirlenmiştir. Araştırmacılar, eğitim seviyesi yükseldikçe yüksekte çalışma eğitimlerinin daha iyi anlaşıldığını ve güvenli çalışma davranışlarının daha fazla benimsendiğini ortaya koymuştur. Hazırlanan çalışmada gerçekleştirilen saha gözlemlerinde de bazı çalışanların kişisel koruyucu donanım kullanmaktan kaçındıkları, güvenli çalışma prosedürlerine uymadıkları ve riskleri yeterince önemsemedikleri gözlemlenmiştir. Bu durum, yüksekte çalışma faaliyetlerinde teknik önlemlerin yanı sıra çalışanların eğitim

düzeıı ve güvenliı farkındalığının da iş kazalarının önlenmesinde belirleyici faktörlerden biri olduğunu göstermektedir.

Çulha ve Hüseyinli (2020) tarafından iş güvenliği uzmanlarının görüşleri doğrultusunda gerçekleştirilen araştırmada ise yüksekte çalışma standartlarına uyum düzeylerinin yeterli olmadığı, özellikle ekipman kullanımı, çalışma düzeni, çalışan davranışları ve yönetim uygulamalarında önemli eksikliklerin bulunduğu belirlenmiştir. Hazırlanan çalışmada elde edilen saha bulguları da bu sonuçlarla paralellik göstermektedir. Çalışma alanlarında uygunsuz erişim yöntemleri, standart dışı çalışma platformları ve koruma sistemlerindeki eksiklikler yalnızca çalışan davranışları ile açıklanabilecek sorunlar olmayıp aynı zamanda işverenin planlama, organizasyon ve denetim sorumluluklarıyla da ilişkilidir. Bu nedenle yüksekte çalışma kaynaklı kazaların önlenmesinde yalnızca çalışanların değil, yönetim sistemlerinin ve denetim mekanizmalarının da etkin şekilde işletilmesi gerekmektedir.

Literatürde yüksekten düşme kazalarının çoğunlukla korkuluk eksiklikleri, uygunsuz iskele kullanımı, düşüş durdurucu sistemlerin kullanılmaması ve yetersiz güvenlik kültürü ile ilişkilendirildiği görölmektedir (İSGGM, 2018). Hazırlanan çalışmada elde edilen saha gözlemleri de benzer risk faktörlerinin çalışma alanlarında varlığını sürdürdüğünü göstermiştir. Bu durum, yüksekte çalışma ile ilgili mevzuat hükümlerinin bulunmasına rağmen uygulama aşamasında çeşitli eksikliklerin devam ettiğini düşündürmektedir.

Hazırlanan çalışmanın önemli yönlerinden biri, ulusal iş kazası istatistikleri ile saha gözlemlerini birlikte değerlendirmesidir. Böylece yüksekten düşme risklerinin yalnızca istatistiksel boyutu değil, sahadaki uygulamalara yansıyan nedenleri de ortaya konulmuştur. Bununla birlikte araştırma yalnızca Uşak ilinde gerçekleştirilen saha gözlemlerini kapsamaktadır. Ayrıca çalışanların bilgi düzeyleri ve güvenlik algıları anket yöntemiyle değerlendirilmemiştir. Gelecekte yapılacak çalışmalarda farklı sektörler ve daha geniş örneklem grupları üzerinde gerçekleştirilecek araştırmaların konuya ilişkin daha kapsamlı sonuçlar ortaya koyacağı değerlendirilmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Hazırlanan çalışmada, yüksekte çalışma faaliyetleri ulusal iş kazası verileri, saha gözlemleri ve Fine-Kinney risk değerlendirmesi birlikte ele alınarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, yüksekte çalışmalara ilişkin yasal düzenlemeler ve teknik gerekliliklerin büyük ölçüde tanımlanmış olmasına rağmen uygulama aşamasında çeşitli eksikliklerin devam ettiğini göstermektedir (Şimşek, 2020).

İncelenen SGK verileri, yüksekten düşme kaynaklı iş kazalarının yıllar içerisinde önemini koruduğunu ve ölümle sonuçlanan vakalar açısından dikkat çekici bir risk oluşturmaya devam ettiğini ortaya koymaktadır. Saha gözlemleri ise bu durumun yalnızca istatistiksel bir sonuç olmadığını, çalışma alanlarında karşılaşılan uygunsuz uygulamalarla doğrudan ilişkili olduğunu göstermiştir. Özellikle toplu koruma sistemlerinin yetersizliği, uygun olmayan erişim yöntemlerinin tercih edilmesi, kişisel koruyucu donanımların kullanılmaması veya hatalı kullanılması ve çalışma alanlarının yeterince planlanmaması, yüksekten düşme riskini artıran temel unsurlar olarak değerlendirilmiştir (SGK, 2025).

Araştırma kapsamında gerçekleştirilen risk değerlendirmelerinde birçok tehlikenin önemli ve katlanılamaz risk seviyelerinde yer alması, yüksekte çalışma faaliyetlerinde risklerin büyük bölümünün önceden öngörülebilir ve kontrol altına alınabilir nitelikte olduğunu göstermektedir. Bu durum, yüksekten düşme kaynaklı kazaların çoğunlukla beklenmeyen olaylardan değil, önlenabilir eksikliklerden kaynaklandığını düşündürmektedir (Eryaman & Akün, 2023).

Yüksekte çalışma faaliyetlerinde güvenliğin sağlanabilmesi için koruma yaklaşımının yalnızca kişisel koruyucu donanım kullanımına dayandırılmaması gerekmektedir. Açık kenarlarda korkuluk sistemleri, güvenlik ağları, uygun çalışma platformları ve güvenli erişim sistemleri gibi toplu koruma tedbirleri çalışma planlamasının ayrılmaz bir parçası haline getirilmelidir (İSGGM, 2018). Bunun yanında çalışanların yüksekte çalışma eğitimlerinin uygulamalı olarak gerçekleştirilmesi, saha denetimlerinin süreklilik göstermesi ve güvenli olmayan davranışların oluşmadan önce tespit edilmesine yönelik önleyici yaklaşımların benimsenmesi önem taşımaktadır.

Ayrıca yüksekte çalışma faaliyetlerinde güvenlik performansının yalnızca çalışan davranışları üzerinden değerlendirilmemesi gerektiği düşünülmektedir. Çalışma ortamının tasarımı, ekipman seçimi, iş organizasyonu, yönetim anlayışı ve denetim süreçleri de güvenliğin ayrılmaz bileşenleri olarak ele alınmalıdır. Bu nedenle yüksekte çalışma kaynaklı iş kazalarının azaltılabilmesi için teknik, yönetsel ve davranışsal unsurların birlikte değerlendirildiği bütüncül bir yaklaşımın benimsenmesi gerekmektedir (Barışık, 2023).

Gelecekte yapılacak çalışmalarda farklı sektörlerde gerçekleştirilecek saha incelemeleri, çalışanların güvenlik algılarını ölçmeye yönelik anket uygulamaları ve farklı risk değerlendirme yöntemlerinin birlikte kullanılması ile yüksekte çalışma risklerinin daha kapsamlı şekilde ortaya konulabileceği değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Arıkaya, B. (2023). Yüksekte çalışma risk analizi ve yaşam hattı uygulamaları, Tezsiz yüksek lisans projesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi.
2. Barışık, T. (2023). Determination of Protection Measures Against Fall Risks in Working at Heights by Multi-Criteria Decision Making Methods. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 50, 154-161. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1245888>
3. Çalışkan, Ö., Karakurt, C. ve Tozlutepe, F. (2016). İnşaat İşlerinde Mevzuatlarla İş Sağlığı ve Güvenliği. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3(1), 29-36. <https://izlik.org/JA74DF73RB>
4. Demirdağ, M., & Yorulmaz, M. (2023). Gemilerde yüksekte çalışma risklerinin Fine Kinney yöntemiyle analizi. All Sciences Proceedings, 1st International Conference on Pioneer and Innovative Studies, 266–273.
5. Dursun, A.F., (2016), Yüksekte Çalışmada Güvenlik Ağları” İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi. Ankara.
6. Eryaman, H., & Akün, E. (2023). Yapılarda Yüksekte Çalışma İş Güvenliği Denetimini Kolaylaştırmak İçin Genişletilmiş Gerçeklik ve Yapay Zekânın Entegrasyonu Modeli. *Turkish Journal of Civil Engineering*, 34(4), 71-104. <https://doi.org/10.18400/tjce.1291960>
7. Genç, Ö., & Ulusoy, İ. (2019). İş Sağlığı ve Güvenliği Farkındalığının Eğitim Düzeyi Perspektifinden İncelenmesi: İnşaat Sektöründe Yüksekte Çalışanlar Üzerinde Bir Araştırma *OHS ACADEMY*, 2(2), 58-66. <https://izlik.org/JA69ES22MN>
8. Hüseyinli, N., & Çulha, Ş. (2020). İnşaat Sektöründe İş Güvenliği Uzmanları Açısından Yüksekte Çalışma Uygulamalarının Değerlendirilmesi. *Çalışma ve Toplum*, 3(66), 1429-1460. <https://izlik.org/JA57EJ85ZH>
9. Kürklü, G., & Görhan, G. (2014, 3–4 Nisan). Mevzuatta yapılan yeni değişiklikler ile yüksekte çalışmalarda iş sağlığı ve güvenliği. 7. Ulusal Çatı ve Cephe Sempozyumu, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
10. Sosyal Güvenlik Kurumu. (2025). SGK istatistik yıllıkları (2015-2024 iş kazası ve meslek hastalığı verileri). <https://www.sgk.gov.tr/Istatistik/Yillik/fcd5e59b-6af9-4d90-a451-ee7500eb1cb4/>
11. Şimşek, S. (2020). İş Sağlığı ve Güvenliği Kapsamında Risk Değerlendirme Metotlarından Fine Kinney Metodunun Bir Örnekle Değerlendirilmesi. *İSG Akademik*, 2(2), 91-99. <https://izlik.org/JA84PU24CT>
12. T.C. Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü. (2018). Yapı işlerinde yüksekte çalışmalarda iş sağlığı ve güvenliği uygulama rehberi. T.C. Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı. <https://www.isggm.gov.tr>

6. Bölüm

Türkiye'de Spor ve Sağlık Alanında Toplumsal Katkı Projeleri: Bir Kapsam Belirleme Derlemesi¹

Fatma ÇELİK KAYAPINAR², Perihan DİKER^{3*}

ÖZET

Bu kapsam belirleme derlemesinin amacı, Türkiye’de spor ve sağlık alanında yürütülen topluma hizmet uygulamaları ile sosyal sorumluluk projelerinin mevcut durumunu incelemektir. Araştırmada Ocak–Mayıs 2024 döneminde elektronik veri tabanları ve kurumsal kaynaklar üzerinden yapılan tarama sonucunda belirlenen projeler değerlendirilmiş, dahil edilme kriterlerini karşılayan 19 çalışma analize alınmıştır. Veriler içerik analizi yöntemiyle incelenmiş; projeler hedef kitle, konu alanı, yıllara göre dağılım ve kurumsal yapı açısından sınıflandırılmıştır.

Bulgular, projelerin ağırlıklı olarak obezite ile mücadele, fiziksel aktivitenin artırılması, sağlıklı yaşam alışkanlıklarının geliştirilmesi ve dezavantajlı grupların desteklenmesine odaklandığını göstermektedir. Ayrıca projelerin büyük bölümünün üniversiteler tarafından yürütüldüğü ve çocuklar ile yetişkinleri hedeflediği, yaşlı bireylere yönelik çalışmaların ise sınırlı olduğu belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, spor temelli sosyal sorumluluk projelerinin yalnızca sağlık çıktıları üretmekle kalmayıp aynı zamanda sosyal kapsayıcılığı artıran ve davranış değişikliği oluşturan önemli araçlar olduğunu ortaya koymaktadır. Çalışma ayrıca söz konusu projelerin Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları ile güçlü bir uyum gösterdiğini vurgulamaktadır.

Sonuç olarak, Türkiye’de spor ve sağlık temelli topluma hizmet uygulamalarının geliştirilmesi, daha geniş hedef kitlelere yayılması ve özellikle yaşlı bireyler ile dezavantajlı gruplara yönelik projelerin artırılması gerektiği önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Spor, sağlık, topluma hizmet uygulamaları, sosyal sorumluluk, kapsam belirleme derlemesi

¹ Bu bölüm V. Uluslararası Sağlık Bilimleri Öğrenci Kongresinde (V. SAGOK 2026) sunulmuş, özet bildirisi olarak yayınlanmıştır.

² İzmir Demokrasi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye.
ORCID: 0000-0002-2159-1706, fatmailayda@gmail.com

³ İzmir Demokrasi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İzmir, Türkiye.
ORCID: 0009-0003-5053-9004, bilperi@hotmail.com

*Sorumlu yazar

Community Service Practices and Social Responsibility Projects in The Fields of Sports and Health in Türkiye: A Scoping Review

ABSTRACT

The aim of this scoping review is to examine community service practices and social responsibility projects conducted in the field of sports and health in Turkey. Following a systematic search conducted between January and May 2024 across electronic databases and institutional sources, relevant studies were identified and screened according to predefined inclusion criteria. A total of 19 studies were included in the final analysis. Data were analyzed using content analysis and categorized according to target groups, thematic focus, temporal distribution, and institutional structure.

The findings indicate that the projects predominantly focus on obesity prevention, promotion of physical activity, development of healthy lifestyle behaviors, and support for disadvantaged groups. It was also observed that most projects are implemented by universities and primarily target children and adults, while interventions for older adults remain limited. The results suggest that sport-based social responsibility initiatives not only contribute to physical health outcomes but also play a significant role in enhancing social inclusion and promoting behavioral change. Furthermore, these projects demonstrate strong alignment with the United Nations Sustainable Development Goals.

In conclusion, the study highlights the need to expand sport and health-based community service initiatives in Turkey, to reach broader populations, and to increase the number of projects targeting older adults and other disadvantaged groups.

Keywords: Sport, health, community service, social responsibility, scoping review

GİRİŞ

Son otuz yılda yükseköğretim kurumlarının rolü önemli ölçüde değişmiş; üniversiteler yalnızca eğitim ve araştırma faaliyetlerini yürüten kurumlar olmaktan çıkarak, toplumsal sorunların çözümüne katkı sağlayan stratejik aktörler hâline gelmiştir. Bu dönüşüm, üniversitelerin klasik eğitim ve araştırma misyonlarına ek olarak "üçüncü misyon" veya "toplumsal katkı" olarak tanımlanan yeni bir sorumluluk alanını ön plana çıkarmıştır. Günümüzde üniversitelerden yalnızca bilimsel bilgi üretmeleri değil, aynı zamanda bu bilgiyi kamu yararına dönüştürmeleri, yerel yönetimler, kamu kurumları, sivil toplum kuruluşları ve özel sektörle iş birliği içerisinde sürdürülebilir toplumsal değer oluşturmaları beklenmektedir (Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD], 2007; Compagnucci & Spigarelli, 2020).

Üniversitelerin toplumsal katkı misyonunun güçlenmesinde uluslararası politika belgeleri belirleyici rol oynamıştır. Birleşmiş Milletler tarafından kabul edilen 2030 Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA); özellikle Amaç 3 (Sağlıklı ve Kaliteli Yaşam), Amaç 4 (Nitelikli Eğitim) ve Amaç 17 (Amaçlar İçin Ortaklıklar) kapsamında üniversiteleri toplum temelli sağlık ve eğitim uygulamalarının temel aktörlerinden biri olarak tanımlamaktadır (United Nations, 2015).

Benzer şekilde Dünya Sağlık Örgütü (WHO), fiziksel aktivite yetersizliğini küresel halk sağlığını tehdit eden en önemli risk faktörlerinden biri olarak kabul etmekte ve tüm toplum kesimlerinde fiziksel aktivitenin artırılması için eğitim kurumlarının, yerel yönetimlerin ve sağlık kuruluşlarının birlikte hareket etmesini önermektedir (Lee et al., 2012; Warburton & Bredin, 2017; World Health Organization, 2020). UNESCO ise *International Charter of Physical Education, Physical Activity and Sport* belgesinde fiziksel aktivite ve sporun temel bir insan hakkı olduğunu vurgulayarak eğitim kurumlarının bu hakkın yaygınlaştırılmasında sorumluluk üstlenmesi gerektiğini belirtmektedir (UNESCO, 2015).

Bu küresel yaklaşım, yükseköğretimde hizmet öğrenimi (service-learning), gönüllülük ve toplum temelli öğrenme modellerinin yaygınlaşmasını sağlamıştır. Hizmet öğrenimi; öğrencilerin akademik bilgi ve becerilerini gerçek toplum sorunlarının çözümünde kullanmalarını sağlayan, topluma hizmet ile öğrenme sürecini bütünleştiren deneyim temelli bir eğitim yaklaşımıdır (Bringle & Hatcher, 1995; Furco, 1996). Özellikle sağlık bilimleri ve spor bilimleri alanlarında yürütülen hizmet öğrenimi uygulamalarının fiziksel aktiviteyi artırma, kronik hastalıkların önlenmesi, engelli bireylerin sosyal katılımının desteklenmesi, yaşlılarda aktif yaşamın geliştirilmesi ve düzenli fiziksel aktivite programlarının kronik hastalıkların önlenmesi, yaşam kalitesinin artırılması ve

sağlıklı yaşlanmanın desteklenmesindeki etkileri güçlü bilimsel kanıtlarla ortaya konmuştur (Lee et al., 2012; Warburton & Bredin, 2017; WHO, 2020).

Spor ve sağlık alanı, üniversitelerin toplumsal katkı misyonunun en görünür uygulama alanlarından biridir. Düzenli fiziksel aktivitenin, bulaşıcı olmayan hastalıkların önlenmesi, ruh sağlığının geliştirilmesi, yaşam kalitesinin artırılması ve sağlıklı yaşlanmanın desteklenmesindeki etkisi bilimsel olarak güçlü biçimde ortaya konmuştur (WHO, 2020). Bu nedenle üniversiteler tarafından yürütülen egzersiz danışmanlığı, aktif yaşam programları, engellilere yönelik aktif yaşam davranışlarının yaygınlaştırılması, yaşlı sağlığı projeleri, çocuklarda hareket eğitimi, obeziteyle mücadele programları ve toplum temelli sağlık taramaları yalnızca eğitim faaliyetleri değil, aynı zamanda koruyucu sağlık hizmetlerinin önemli bileşenleri olarak değerlendirilmektedir.

Türkiye'de yükseköğretim sisteminde toplumsal katkı anlayışı özellikle son on yılda kurumsal düzeyde belirgin biçimde güçlenmiştir. Yükseköğretim Kurulu tarafından yükseköğretimde kalite güvencesi sisteminin güçlendirilmesine yönelik yürütülen çalışmalar sonucunda üniversitelerin eğitim ve araştırma faaliyetlerinin yanında toplumsal katkı faaliyetleri de kurumsal performansın temel göstergelerinden biri hâline gelmiştir. Yükseköğretim Kalite Kurulu (YÖKAK) tarafından yürütülen Kurumsal Akreditasyon Programı ve Kurumsal Dış Değerlendirme süreçlerinde "Toplumsal Katkı", yükseköğretim kurumlarının değerlendirilmesinde temel ölçütlerden biri olarak tanımlanmış; üniversitelerden toplumsal katkı süreçlerini planlamaları, uygulamaları, izlemeleri ve sürekli iyileştirmeleri beklenmiştir (Yükseköğretim Kalite Kurulu [YÖKAK], 2022). Bunun yanında Yükseköğretim Kurulu (YÖK) tarafından yayımlanan Üniversite İzleme ve Değerlendirme Genel Raporlarında "Topluma Hizmet ve Sosyal Sorumluluk" göstergeleri üniversitelerin kurumsal performansının izlenmesinde temel değerlendirme alanlarından biri olarak yer almaktadır (Yükseköğretim Kurulu [YÖK], 2024).

Bu dönüşüm, yükseköğretim programlarında Topluma Hizmet Uygulamaları, Gönüllülük Çalışmaları ve Sosyal Sorumluluk temalı derslerin yaygınlaşmasını da beraberinde getirmiştir. Söz konusu dersler aracılığıyla öğrencilerin yalnızca mesleki bilgi ve beceriler kazanmaları değil; toplumsal sorunları tanıyan, gönüllülük kültürünü benimseyen, disiplinler arası iş birliği yapabilen ve sosyal sorumluluk bilinci gelişmiş bireyler olarak yetişmeleri hedeflenmektedir. Özellikle sağlık bilimleri ve spor bilimleri fakültelerinde geliştirilen projeler; fiziksel aktivitenin yaygınlaştırılması, sağlıklı yaşam davranışlarının geliştirilmesi, dezavantajlı grupların desteklenmesi ve toplum sağlığının iyileştirilmesine yönelik uygulamalarla üniversitelerin toplumsal katkı misyonunun somut çıktıları hâline gelmiştir.

Üniversitelerde yürütülen bu faaliyetler aynı zamanda ulusal kalkınma ve sektör politikalarıyla da uyum içerisindedir. On İkinci Kalkınma Planı (2024–2028), toplum sağlığının geliştirilmesi, koruyucu sağlık hizmetlerinin güçlendirilmesi, aktif yaşam kültürünün yaygınlaştırılması ve üniversitelerin toplumsal katkı kapasitesinin artırılmasını temel hedefler arasında göstermektedir (Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023). Benzer şekilde Sağlık Bakanlığının *Türkiye Sağlıklı Beslenme ve Hareketli Hayat Programı* ile Gençlik ve Spor Bakanlığının 2024–2028 Stratejik Planı; fiziksel aktivitenin toplumun tüm kesimlerinde artırılması, yaşam boyu sporun desteklenmesi ve gönüllülük temelli spor faaliyetlerinin yaygınlaştırılmasını öncelikli stratejik amaçlar arasında tanımlamaktadır (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2019; T.C. Gençlik ve Spor Bakanlığı, 2024). Bu politika belgeleri, üniversiteler tarafından geliştirilen spor ve sağlık temelli topluma hizmet projelerinin yalnızca akademik etkinlikler değil, aynı zamanda ulusal politika hedeflerine katkı sağlayan uygulamalar olduğunu göstermektedir.

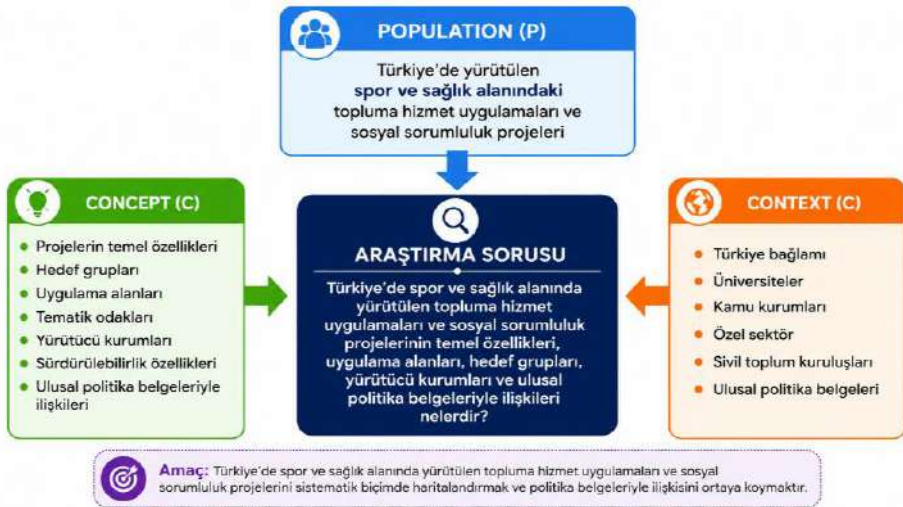
Son yıllarda Türkiye'de spor ve sağlık alanında gerçekleştirilen topluma hizmet uygulamaları ve sosyal sorumluluk projelerinde belirgin bir artış gözlenmesine rağmen, bu projelerin kapsamını, hedef gruplarını, uygulama alanlarını, yürütücü kurumlarını, yöntemlerini ve ulusal politika belgeleriyle ilişkisini bütüncül olarak değerlendiren bir kapsam belirleme derlemesine ulaşılamamıştır. Web of Science Core Collection, Scopus, PubMed, TR Dizin ve Google Scholar veri tabanlarında gerçekleştirilen ön taramalar, mevcut çalışmaların büyük ölçüde tek bir üniversite, belirli bir hedef grup veya tekil proje örnekleriyle sınırlı olduğunu göstermektedir. Türkiye genelindeki eğilimleri bütüncül biçimde ortaya koyan bir kanıt sentezinin bulunmaması, bu kapsam belirleme derlemesinin temel gerekçesini oluşturmaktadır. Bu doğrultuda çalışmanın amacı, Türkiye'de spor ve sağlık alanında yürütülen topluma hizmet uygulamaları ve sosyal sorumluluk projelerini sistematik biçimde haritalandırmak; projelerin hedef gruplarını, uygulama alanlarını, yöntemlerini ve ulusal yükseköğretim politikaları ile sağlık ve spor alanındaki stratejik politika belgeleriyle ilişkilerini değerlendirmektir.

2. YÖNTEM

2.1 Araştırma Tasarımı

Bu çalışma, Türkiye'de spor ve sağlık alanında yürütülen topluma hizmet uygulamaları ile sosyal sorumluluk projelerinin mevcut bilgi birikimini sistematik biçimde haritalandırmak amacıyla gerçekleştirilen kapsam belirleme derlemesi (Scoping Review) olarak tasarlanmıştır.

Kapsam belirleme derlemeleri; belirli bir alandaki kanıtların kapsamını, özelliklerini, araştırma eğilimlerini ve bilgi boşluklarını sistematik biçimde ortaya koymayı amaçlayan kanıt sentezi yöntemlerinden biridir. Bu yöntem, belirli bir konuda kanıtların kapsamını, özelliklerini ve araştırma boşluklarını ortaya koyması nedeniyle politika geliştirme ve gelecekte yapılacak araştırmaların planlanmasında önemli bir kanıt sentezi yöntemi olarak kabul edilmektedir (Peters et al., 2024). Çalışmanın planlanması ve raporlanmasında Joanna Briggs Institute (JBI) Manual for Evidence Synthesis (2024) ile Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR) rehberi esas alınmıştır (Tricco et al., 2018; Peters et al., 2024).



Şekil 1. Population–Concept–Context (PCC) yaklaşımına göre araştırma sorusunun oluşturulması

Not: Şekil, JBI Manual for Evidence Synthesis (Peters et al., 2024) esas alınarak yazarlar tarafından hazırlanmıştır.

2.2 Araştırma Sorusu

Araştırma sorusu, JBI tarafından önerilen Population–Concept–Context (PCC) yaklaşımı kullanılarak oluşturulmuştur. Bu kapsam belirleme derlemesinin temel araştırma sorusu aşağıdaki şekilde oluşturulmuştur. Türkiye'de spor ve sağlık alanında yürütülen topluma hizmet uygulamaları ve sosyal sorumluluk projelerinin temel özellikleri, uygulama alanları, hedef grupları, yürütücü kurumları ve ulusal politika belgeleriyle ilişkileri nelerdir? şeklinde belirlenmiştir.

Şekil 2. Akış şeması



2.3 Literatür Tarama Stratejisi

Literatür taraması, kapsam belirleme derlemeleri için önerilen üç aşamalı JBI yaklaşımına uygun olarak yürütülmüştür. İlk aşamada konuya ilişkin temel kavramlar belirlenmiş ve anahtar kelimeler geliştirilmiştir. İkinci aşamada elektronik veri tabanlarında sistematik taramalar gerçekleştirilmiştir (Peters et al., 2024). Son aşamada ise seçilen çalışmaların kaynakçaları incelenerek ek çalışmalara ulaşılmıştır. Tarama, Web of Science Core Collection (tarama tarihi: Temmuz 2024; filtreler: 2013–2024, makale, İngilizce ve Türkçe; bulunan kayıt sayısı: n=3), Scopus (tarama tarihi: Temmuz 2024; filtreler: 2013–2024, makale, İngilizce ve Türkçe; bulunan kayıt sayısı: n=2), PubMed (tarama tarihi: Temmuz

2024; filtreler: son 10 yıl, Humans, English/Turkish; bulunan kayıt sayısı: n=4), TR Dizin (tarama tarihi: Temmuz 2024; filtreler: 2013–2024; bulunan kayıt sayısı: n=6), ve Google Scholar (tarama tarihi: Temmuz 2024; ilk 10 sayfa [toplam 56 sonuç] incelenmiştir; filtreler: 2013–2024, Türkçe ve İngilizce) üzerinden gerçekleştirilmiştir. Ayrıca gri literatür kapsamında Sağlık Bakanlığı, Gençlik ve Spor Bakanlığı, Yükseköğretim Kurulu, Yükseköğretim Kalite Kurulu ve üniversitelerin kurumsal proje arşivleri taranmış; her kurum için erişilen kayıt sayıları sırasıyla n=28, n=21, n=36, n=17 ve n=6 olarak kaydedilmiştir. Tarama 2013-2024 yılları arasında yapılmıştır.

Arama sırasında Boolean operatörleri olarak (AND, OR) kullanılmıştır. Örnek arama stratejisinde; ("community service OR service-learning OR social responsibility OR volunteer*) AND ("physical activity" OR sport* OR exercise OR health promotion) AND University AND (Türkiye OR Turkey) Türkçe taramalarda ise; “topluma hizmet veya gönüllülük; veya sosyal sorumluluk; spor; egzersiz; fiziksel aktivite; sağlık ve üniversite” ve Türkiye” anahtar sözcükleri kullanılmıştır. Literatür taraması son kez Temmuz 2024 tarihinde güncellenmiş ve uygun olduğu belirlenen çalışmalar tam metin değerlendirmesine alınmıştır.

2.4 Dahil Edilme ve Dışlanma Ölçütleri

Dahil edilme ve dışlanma ölçütleri araştırma başlamadan önce belirlenmiştir.

Dahil edilme ölçütleri

- Türkiye’de yürütülmüş olması
- Spor ve/veya sağlık alanında gerçekleştirilmiş olması
- Topluma hizmet veya sosyal sorumluluk kapsamında planlanmış olması
- Tam metnine ulaşılabilmesi
- Türkçe veya İngilizce yayımlanmış olması

Dışlanma ölçütleri

- Türkiye dışında yürütülen çalışmalar
- Klinik tedavi araştırmaları
- Editör yazıları
- Görüş yazıları
- Kongre özeti
- Tek sayfalık proje tanıtımları
- Tam metnine ulaşamayan yayınlar

2.5 Çalışmaların Seçimi

Tüm kayıtlarda yinelenen kayıtlar çıkarıldıktan sonra başlık ve özetler iki bağımsız araştırmacı tarafından incelenmiştir. Uygun görülen çalışmalar tam metin değerlendirmesine alınmıştır. Uygun olmayan çalışmalar dışlanmış ve

dışlanma nedenleri kayıt altına alınmıştır. Seçim süreci PRISMA-ScR akış diyagramı kullanılarak raporlanmıştır (Tricco et al., 2018). İki araştırmacı arasında görüş ayrılığı oluşması durumunda üçüncü araştırmacının görüşü alınarak uzlaşa sağlanmıştır.

2.6 Veri Çıkarma

Veriler, araştırmacılar tarafından önceden geliştirilen standart veri çıkarma formu kullanılarak elde edilmiştir. Her çalışma için: Yayın yılı, proje adı, yürütücü kurum, üniversite/fakülte, hedef grup, katılımcı sayısı, proje süresi, spor alanı, sağlık alanı, kullanılan yöntem, toplumsal katkı türü, gönüllülük bileşeni, sosyal sorumluluk yaklaşımı, politika belgeleriyle ilişkisi, temel çıktılar ve sürdürülebilirlik durumu gibi bilgiler kaydedilmiştir. Veri çıkarma formu pilot olarak iki çalışma üzerinde denenmiş ve gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra tüm çalışmalara uygulanmıştır. Verilerin doğruluğunu artırmak amacıyla veri çıkarma işlemi iki araştırmacı tarafından bağımsız olarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen kayıtlar karşılaştırılarak doğrulanmıştır.

Özellikle projelerin YÖKAK Toplumsal Katkı ölçütleri, On İkinci Kalkınma Planı, Türkiye Sağlıklı Beslenme ve Hareketli Hayat Programı, Gençlik ve Spor Bakanlığı Stratejik Planı ve Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları ile uyumu ayrıca değerlendirilmiştir.

2.7 Verilerin Analizi

Betimsel analiz kapsamında projeler önce frekans ve yüzde dağılımlarına göre sınıflandırılmış, ardından ortak temalar içerik analizi yaklaşımıyla belirlenmiştir. Projeler; yürütücü kurum, hedef grup, uygulama alanı, toplumsal katkı türü, spor ve sağlık teması, kullanılan yöntem, ulusal politika belgeleriyle uyumu, sürdürülebilir kalkınma amaçlarıyla ilişkisi bakımından sınıflandırılmıştır. Bulgular frekans, yüzde ve tematik analiz kullanılarak sunulmuştur. Tematik analiz sürecinde benzer özellik gösteren projeler aynı kategori altında birleştirilmiştir.

2.8 Etik Hususlar

Bu çalışma yalnızca kamuya açık yayımlanmış çalışmaların incelenmesine dayandığından etik kurul onayı gerektirmemektedir. Çalışmada yalnızca kamuya açık kaynaklardan elde edilen veriler kullanıldığından etik kurul onayı gerekmemektedir.

3. BULGULAR

Bu kapsam belirleme derlemesine dahil edilen toplam 19 proje, uygulanma yılları, hedef grupları, tematik odakları, sürdürülebilirlik, coğrafi dağılımları, amaçları, kurumsal yapıları ve ulusal politika belgeleri ile ilişkileri açısından değerlendirilmiştir.

Türkiye’de Spor ve Sağlık Alanında Yürütülen Topluma Hizmet Uygulamaları ve Sosyal Sorumluluk Projeleri (2013–2024)

No	Proje Adı	Yıl	Uygulama Yeri	Yürütücü Kurum	Hedef Grup	Ana Tema
1	Sen Çok Yaşa Günü	2013	İstanbul	Pfizer Türkiye	Yetişkinler	Sağlıklı yaşlanma ve sağlıklı yaşam
2	Sağlıklı Yaşam İçin Fiziksel Aktivite	2016	Zonguldak	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi	Yetişkinler	Fiziksel aktivite
3	Sağlığın Ölçüyünüz Yaşamına Hareket Katıyorsunuz	2016	Zonguldak	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi	Çocuklar	Obezite ve sağlıklı yaşam
4	Yaşamına Hareket Kat	2016	Zonguldak	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi	Yetişkinler	Obezite ve fiziksel aktivite
5	Obeziteyle Mücadele İçin Bir Pedal da Sen Çevir	2016	Zonguldak	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi	Yetişkinler	Obezite
6	Obeziteye Karşı Mücadele Hareketi	2016	Zonguldak	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi	Yetişkinler	Obezite ve fiziksel aktivite
7	NO-bezite	2016	Zonguldak	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi	Çocuklar	Obezite
8	Allianz Motto Hareket	2018	Türkiye Geneli	Allianz Türkiye	Çocuklar	Spor ve sağlıklı yaşam
9	Hareketliyim, Sağlıklıyım	2021	Erzurum	Atatürk Üniversitesi	Çocuklar	Fiziksel aktivite
10	Güç Yüreğimde	2021	İstanbul	Liv Hospital	Ergeli çocuklar	Ergeli sporlar ve sağlık
11	Sağlığa Kulaç At (Talasemi Egzersize Engel Değil)	2021/2022	Antalya	Akdeniz Üniversitesi	Talasemi hastaları ve yakınları	Egzersiz ve kronik hastalık
12	Obez Bireylerde Direnç Egzersizi	2021/2022	Antalya	Akdeniz Üniversitesi	Obez bireyler	Obezite
13	Okullarda Omurga Sağlığı	2022	İstanbul	İstanbul Üniversitesi	Çocuklar	Omurga sağlığı
14	Akdeniz Anemili Bireylerde Rekreasyonel Fitness ve Wellness Uygulamaları	2022/2023	Antalya	Akdeniz Üniversitesi	Talasemi hastaları ve yakınları	Rekreatif etkinlikler
15	Aktif Yaşa, Verimli Çalış	2022/2023	Antalya	Akdeniz Üniversitesi	Üniversite personeli	Düzenli egzersiz
16	Sporla İç İçe, Hayata Gülmüsel	2023/2023	Antalya	Akdeniz Üniversitesi	Lösemili çocuklar	Rekreatif destek
17	Haydi Çocuklar Oynama	2023/2024	Antalya	Akdeniz Üniversitesi	İlkokul öğrencileri	Egzersiz alışkanlığı
18	Sağlıklı Beslen, Hareket Et, Obeziteyi Yok Et	2023/2024	Antalya	Akdeniz Üniversitesi	Obez öğrenciler	Obezite
19	Yür Danırla, Akım At Sağlağal	2023/2024	Antalya	Akdeniz Üniversitesi	Yaşlı bireyler	Aktif yaşlanma

Şekil 3. Türkiye’de Spor ve Sağlık Alanında Yürütülen Topluma Hizmet Uygulamaları Projeleri



Şekil 4. Türkiye'de Spor ve Sağlık Alanındaki Topluma Hizmet Projelerinin Profili

Araştırma kapsamında incelenen 19 projenin genel özellikleri değerlendirildiğinde çalışmaların 2013–2024 yılları arasında gerçekleştirildiği görülmektedir. Projelerin en yoğun uygulandığı yıl 2016 olup toplam altı proje (%31,58) bu dönemde yürütülmüştür. 2022/2023 ve 2023/2024 dönemleri üçer proje (%15,79) ile ikinci sırada yer almaktadır.

Hedef gruplar açısından çocuklar ve yetişkinler eşit düzeyde temsil edilmekte (n=9; %47,37), kronik hastalar (%15,79), yaşlı bireyler (%5,26) ve engelli bireyler (%5,26) daha sınırlı yer almaktadır.

Projelerin sürdürülebilirlik özellikleri incelendiğinde çalışmaların 11'inin (%57,89) kurumsal ve sürekli programlar kapsamında yürütüldüğü, altısının (%31,58) belirli dönemlerde tekrarlandığı ve yalnızca ikisinin (%10,53) tek etkinlik niteliğinde olduğu belirlenmiştir. Kurumsal sürdürülebilirlik gösteren projelerin önemli bölümünün üniversiteler tarafından yürütülmesi, topluma hizmet uygulamalarının yükseköğretim kurumlarının eğitim ve toplumsal katkı faaliyetleriyle bütünleşmeye başladığını göstermektedir. Buna karşılık tek etkinlik niteliğindeki projelerin daha çok kısa süreli farkındalık çalışmaları şeklinde planlandığı belirlenmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, araştırma kapsamındaki projelerin yarısından fazlasının kurumsal süreklilik göstermesi, spor ve sağlık alanındaki topluma hizmet uygulamalarının belirli ölçüde sürdürülebilir bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

Projeler Türkiye'nin farklı bölgelerinde yürütülmüş olmakla birlikte uygulamaların belirli merkezlerde yoğunlaştığı görülmektedir. Antalya (n=7) ve Zonguldak (n=6) en fazla projenin yürütüldüğü iller olurken Marmara Bölgesi üç proje ile üçüncü sırada yer almaktadır. Projelerin bölgesel dağılımı Akdeniz (%36,84) ve Karadeniz (%31,58) bölgelerinde yoğunlaşmaktadır.

Tematik açıdan incelendiğinde projelerin en önemli odak noktasını obezite ile mücadele (%36,84; n=7) oluşturmuştur. Bunu rekreatif etkinlikler ve tedavi sürecini desteklemeye yönelik uygulamalar (%31,58; n=6) izlemiştir. Sağlıklı yaşam kültürünün geliştirilmesi ile düzenli egzersiz alışkanlığı kazandırılmasına yönelik projelerin her biri üçer çalışma (%15,79) ile temsil edilmiştir. Bu bulgular, yürütülen projelerin temel amaçları fiziksel aktivitenin artırılması, obezitenin önlenmesi, sağlıklı yaşam davranışlarının geliştirilmesi gibi büyük ölçüde koruyucu sağlık hizmetleri ve yaşam tarzı değişikliğini destekleyen girişimler üzerine yoğunlaştığı ve kronik hastalıklarda egzersiz uygulamalarıdır. Bununla birlikte proje yoğunluğunun belirli illerde fazla olması, diğer üniversitelerde benzer uygulamaların yürütülmediği anlamına gelmemekte; bu durumun proje raporlarının erişilebilirliği ve görünürlüğündeki farklılıklardan da kaynaklanabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

İncelenen projelerin %73,68'i üniversiteler tarafından yürütülmüş olup üniversiteler spor ve sağlık alanındaki toplumsal katkı uygulamalarının temel yürütücüsü konumundadır. Üniversiteler arasında Akdeniz Üniversitesi (%50,00) ve Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi (%42,86) öne çıkmaktadır.

Projelerin tamamı On İkinci Kalkınma Planı ile Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SKA-3, SKA-4 ve SKA-17) ile

ilişkilendirilebilirken %63,16'sı Türkiye Sağlıklı Beslenme ve Hareketli Hayat Programı, %52,63'ü Gençlik ve Spor Bakanlığı Stratejik Planı ve %73,68'i YÖKAK Toplumsal Katkı Ölçütleri ile doğrudan uyumludur. Bu bulgular, üniversitelerde yürütülen topluma hizmet uygulamalarının ulusal politika belgeleri ve kalite güvencesi sistemi ile önemli ölçüde bütünleştiğini göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, derlemeye dâhil edilen projeler son on yılda spor ve sağlık alanındaki topluma hizmet uygulamalarının nicelik ve içerik bakımından gelişim gösterdiğini ortaya koymaktadır. Çalışmalar ağırlıklı olarak üniversiteler tarafından yürütülmekte, çocuklar ve yetişkinler temel hedef grupları oluşturmakta ve projeler daha çok obezitenin önlenmesi, fiziksel aktivitenin artırılması ve sağlıklı yaşam davranışlarının geliştirilmesine odaklanmaktadır. Bulgular ayrıca projelerin önemli bölümünün ulusal sağlık, spor ve yükseköğretim politikalarıyla uyumlu olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte uygulamaların belirli üniversitelerde ve bölgelerde yoğunlaşması, yaşlı bireyler ile diğer dezavantajlı gruplara yönelik çalışmaların sınırlı kalması ve çok paydaşlı ulusal ölçekli uygulamaların azlığı, bu alanda geliştirilmesi gereken önemli yönler olarak değerlendirilmektedir.

4. TARTIŞMA

Bu kapsam belirleme derlemesinde Türkiye'de spor ve sağlık alanında yürütülen topluma hizmet uygulamaları ve sosyal sorumluluk projelerinin mevcut durumu kapsamlı olarak değerlendirilmiştir. Analiz edilen 19 proje; uygulama yılları, hedef grupları, tematik odakları, coğrafi dağılımları, yürütücü kurumları, sürdürülebilirlik özellikleri ve ulusal politika belgeleriyle ilişkileri açısından incelenmiştir. Bulgular, son on yılda spor ve sağlık alanındaki topluma hizmet uygulamalarının hem nicelik hem de içerik bakımından geliştiğini, ancak uygulamaların belirli kurumlar ve bölgelerde yoğunlaştığını göstermektedir. Tartışma bölümünde bulgular; (i) projelerin genel profili, (ii) coğrafi dağılım ve tematik öncelikler ile (iii) kurumsal yapı ve ulusal politikalar olmak üzere üç temel başlık altında ele alınmıştır.

Araştırma bulguları, Türkiye'de spor ve sağlık alanındaki topluma hizmet uygulamalarının özellikle 2016 yılından sonra belirgin biçimde arttığını göstermektedir. Bu artışın yalnızca toplumsal farkındalığın yükselmesiyle açıklanması yeterli değildir. Aynı dönemde yükseköğretim sisteminde kalite güvencesi uygulamalarının yaygınlaşması (YÖKAK, 2022; YÖK, 2024), toplumsal katkının üniversitelerin temel misyonlarından biri olarak tanımlanması ve gönüllülük temelli derslerin yaygınlaşması proje üretimini destekleyen önemli yapısal gelişmeler olmuştur.

İncelenen projelerin çocuklar ve yetişkinler üzerinde yoğunlaşması, toplumun en geniş nüfus gruplarına ulaşmayı hedefleyen koruyucu sağlık yaklaşımını yansıtmaktadır (WHO, 2022; Lee et al. (2012). Buna karşın yaşlı bireyler, engelliler ve kronik hastalığa sahip bireylerin sınırlı sayıda projede yer alması, yaşam boyu fiziksel aktivite yaklaşımının henüz yeterince yaygınlaşmadığını göstermektedir (WHO 2022; Warburton & Bredin (2017).

Projelerin tematik dağılımında obezite ile mücadele, fiziksel aktivitenin artırılması ve sağlıklı yaşam alışkanlıklarının geliştirilmesi ön plana çıkmaktadır. Bu bulgu, Dünya Sağlık Örgütünün fiziksel inaktiviteyi küresel mortalitenin temel risk faktörlerinden biri olarak tanımlayan yaklaşımıyla uyumludur (Hallal et al., 2012; Lee et al., 2012; WHO, 2022). Ayrıca WHO'nun Global Action Plan on Physical Activity 2018–2030 belgesinde toplum temelli fiziksel aktivite programlarının yaygınlaştırılmasına ilişkin önerileri de incelenen projelerin amaçlarıyla büyük ölçüde örtüşmektedir (World Health Organization [WHO], 2018).

Projelerin yarısından fazlasının kurumsal sürdürülebilirlik göstermesi ise topluma hizmet uygulamalarının tek seferlik sosyal sorumluluk etkinliklerinden çıkarak üniversitelerin sürekli eğitim ve toplumsal katkı faaliyetlerinin bir parçası hâline gelmeye başladığını göstermektedir (Compagnucci & Spigarelli, 2020). Bununla birlikte dönemsel ve kısa süreli uygulamaların devam ediyor olması, uzun dönemli etki değerlendirmelerinin henüz yeterince yapılmadığını düşündürmektedir.

Araştırma kapsamında projelerin Türkiye'nin farklı bölgelerinde yürütüldüğü belirlenmiş olmakla birlikte uygulamaların özellikle Akdeniz ve Karadeniz bölgelerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Antalya ve Zonguldak illerinin ön plana çıkması ilk bakışta bölgesel bir eşitsizlik izlenimi oluşturabilmektedir. Ancak bu durumun, diğer üniversitelerde benzer çalışmaların yapılmadığı anlamına gelmediği özellikle vurgulanmalıdır. Kapsam belirleme derlemeleri yalnızca erişilebilir ve raporlanmış uygulamaları değerlendirdiğinden, proje sonuçlarının yayımlanma ve görünürlük düzeyindeki farklılıklar da bu dağılımı etkilemiş olabilir.

Projelerin amaçları değerlendirildiğinde fiziksel aktivitenin artırılması, obezitenin önlenmesi, sağlıklı yaşam davranışlarının geliştirilmesi ve kronik hastalıklarda egzersizin destekleyici bir araç olarak kullanılması öne çıkmaktadır. Bu öncelikler, Türkiye Sağlıklı Beslenme ve Hareketli Hayat Programı ile On İkinci Kalkınma Planı'nda belirtilen koruyucu sağlık hizmetleri hedefleriyle büyük ölçüde uyumludur. Benzer şekilde Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından hazırlanan ulusal politika belgelerinde yaşam kalitesinin artırılması, sağlıklı yaşlanma ve toplum temelli koruyucu sağlık hizmetlerinin

güçlendirilmesine yönelik hedefler de incelenen projelerin amaçlarıyla örtüşmektedir.

Araştırmada yaşlı bireylere yönelik yalnızca bir projenin bulunması ise dikkat çekici bir bulgudur. Dünya Sağlık Örgütü aktif yaşlanmayı bireylerin yaş ilerledikçe fiziksel, zihinsel ve sosyal kapasitelerini sürdürebilmelerini sağlayan temel yaklaşımlardan biri olarak tanımlamaktadır (WHO, 2022). Düzenli fiziksel aktivitenin yaşlı bireylerde düşmeleri azaltması (Warburton & Bredin, 2017), fonksiyonel bağımsızlığı artırması ve bilişsel gerilemeyi yavaşlatması dikkate alındığında, aktif yaşlanmaya yönelik topluma hizmet projelerinin sayısının artırılması önemli görünmektedir.

Araştırmanın en dikkat çekici bulgularından biri projelerin yaklaşık dörtte üçünün üniversiteler tarafından yürütülmesidir. Bu sonuç, yükseköğretim kurumlarının yalnızca eğitim ve araştırma yapan kurumlar olmaktan çıkarak toplumla bütünleşen sosyal aktörler hâline geldiğini göstermektedir. Bu değişim büyük ölçüde Türkiye'de son yıllarda uygulanan yükseköğretim politikalarıyla ilişkilidir. Benzer biçimde YÖK'ün Üniversite İzleme ve Değerlendirme Genel Raporu'nda topluma hizmet ve sosyal sorumluluk göstergelerinin üniversitelerin kurumsal performansının değerlendirilmesinde kullanılan temel göstergeler arasında yer alması, araştırmada elde edilen bulguları desteklemektedir (YÖK, 2024).

YÖKAK tarafından yürütülen kurumsal akreditasyon süreçlerinde toplumsal katkının temel değerlendirme ölçütlerinden biri olarak kabul edilmesi ve birçok üniversitede Topluma Hizmet Uygulamaları ile Gönüllülük Çalışmaları derslerinin yaygınlaşması, spor ve sağlık alanındaki proje üretimini önemli ölçüde desteklemiştir. Dolayısıyla üniversitelerin araştırmada baskın uygulayıcı aktör olarak ortaya çıkması yalnızca kurumsal tercihlerin değil, aynı zamanda ulusal yükseköğretim politikalarının doğal bir sonucudur.

Benzer biçimde YÖK'ün Üniversite İzleme ve Değerlendirme Genel Raporu'nda topluma hizmet ve sosyal sorumluluk göstergelerinin üniversitelerin kurumsal performansının değerlendirilmesinde kullanılan temel göstergeler arasında yer alması, araştırmada elde edilen bulguları desteklemektedir (YÖK, 2024).

Projelerin ulusal politika belgeleriyle yüksek düzeyde uyum göstermesi de dikkat çekmektedir. İncelenen projelerin tamamının On İkinci Kalkınma Planı ile Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarının özellikle SKA-3, SKA-4 ve SKA-17 hedefleriyle ilişkilendirilebilmesi, topluma hizmet uygulamalarının ulusal ve uluslararası politika belgelerinin sahaya yansıyan uygulamaları olduğunu göstermektedir.

Ayrıca projelerin önemli bölümünün Türkiye Sağlıklı Beslenme ve Hareketli Hayat Programı ile Gençlik ve Spor Bakanlığı Stratejik Planı doğrultusunda fiziksel aktivitenin yaygınlaştırılması ve sağlıklı yaşam kültürünün geliştirilmesine katkı sağlaması, spor temelli topluma hizmet uygulamalarının yalnızca akademik faaliyetler değil aynı zamanda halk sağlığı politikalarının destekleyici araçları olduğunu ortaya koymaktadır.

Bu sonuçlar aynı zamanda hizmet öğrenimi (service-learning) yaklaşımının yükseköğretimdeki önemini de desteklemektedir. Bringle ve Hatcher (1995) ile Furco'nun (1996) belirttiği gibi toplum temelli uygulamalar öğrencilerin akademik bilgi ile toplumsal sorumluluğu bütünleştirmelerine olanak sağlamaktadır. İncelenen projeler de bu yaklaşımın spor ve sağlık alanındaki başarılı örnekleri olarak değerlendirilebilir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu kapsam belirleme derlemesi, Türkiye'de spor ve sağlık alanında yürütülen topluma hizmet uygulamaları ile sosyal sorumluluk projelerinin son yıllarda nicelik ve çeşitlilik açısından geliştiğini ortaya koymuştur. Projelerin ağırlıklı olarak üniversiteler tarafından yürütüldüğü, fiziksel aktivitenin artırılması, obezitenin önlenmesi ve sağlıklı yaşam davranışlarının geliştirilmesi üzerine odaklandığı belirlenmiştir. Bununla birlikte uygulamaların belirli üniversitelerde ve coğrafi bölgelerde yoğunlaştığı; yaşlı bireyler, engelliler ve kronik hastalığa sahip bireylere yönelik proje sayısının sınırlı olduğu görülmüştür. Ayrıca projelerin büyük bölümünün ulusal politika belgeleri, YÖKAK toplumsal katkı yaklaşımı ve Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen bulgular doğrultusunda; üniversitelerde spor ve sağlık temelli topluma hizmet uygulamalarının yaygınlaştırılması, farklı hedef gruplara yönelik sürdürülebilir projelerin geliştirilmesi ve projelerin uzun dönemli etkilerinin bilimsel yöntemlerle değerlendirilmesi önerilmektedir. Ayrıca ulusal düzeyde ortak bir proje izleme ve raporlama sisteminin oluşturulması, iyi uygulama örneklerinin paylaşılması ve üniversiteler arası iş birliğinin güçlendirilmesi, toplumsal katkı çalışmalarının etkinliğini artıracaktır.

6. KAYNAKLAR

- Bringle, R. G., & Hatcher, J. A. (1995). *A service-learning curriculum for faculty. Michigan Journal of Community Service Learning*, 2(1), 112–122.
- Compagnucci, L., & Spigarelli, F. (2020). The third mission of the university: A systematic literature review on potentials and constraints. *Technological Forecasting and Social Change*, 161, 120284. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120284>
- Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2023). *On İkinci Kalkınma Planı (2024–2028)*. https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/11/On-Ikinci-Kalkinma-Planı_2024-2028_17112023.pdf
- Furco, A. (1996). Service-learning: A balanced approach to experiential education. In B. Taylor (Ed.), *Expanding boundaries: Serving and learning* (pp. 2–6). Corporation for National Service.
- Hallal, P. C., Andersen, L. B., Bull, F. C., Guthold, R., Haskell, W., & Ekelund, U. (2012). Global physical activity levels: Surveillance progress, pitfalls, and prospects. *The Lancet*, 380(9838), 247–257. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)60646-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60646-1)
- Lee, I.-M., Shiroma, E. J., Lobelo, F., Puska, P., Blair, S. N., Katzmarzyk, P. T., & Lancet Physical Activity Series Working Group. (2012). Effect of physical inactivity on major non-communicable diseases worldwide: An analysis of burden of disease and life expectancy. *The Lancet*, 380(9838), 219–229. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61031-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61031-9)
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2007). *Higher education and regions: Globally competitive, locally engaged*. OECD Publishing.
- Peters, M. D. J., Godfrey, C., McInerney, P., Munn, Z., Tricco, A. C., Khalil, H., Parker, D., Soares, C. B., Baldini Soares, C., Stern, C., Pollock, D., & Aromataris, E. (2024). *JBIM manual for evidence synthesis*. Joanna Briggs Institute. <https://doi.org/10.46658/IBIMES-24-01>
- T.C. Gençlik ve Spor Bakanlığı. (2024). *2024–2028 Stratejik Planı*. https://sgb.gsb.gov.tr/Public/Edit/images/SGB/012014/GSB_24_0001_KK_sstratejik_plan_web_270624.pdf
- T.C. Sağlık Bakanlığı. (2019). *Türkiye Sağlıklı Beslenme ve Hareketli Hayat Programı: Yetişkin ve çocukluk çağı obezitesinin önlenmesi ve fiziksel aktivite eylem planı (2019–2023)*. https://hsgm.saglik.gov.tr/depo/birimler/saglikli-beslenme-ve-hareketli-hayat-db/Dokumanlar/Programlar/Turkiye_Saglikli_Beslenme_ve_Hareketli_Hayat_Programi.pdf

- Tricco, A. C., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K. K., Colquhoun, H., Levac, D., et al. (2018). PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): Checklist and explanation. *Annals of Internal Medicine*, 169(7), 467–473.
- UNESCO. (2015). International Charter of Physical Education, Physical Activity and Sport.
- United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- Warburton, D. E. R., & Bredin, S. S. D. (2017). Health benefits of physical activity: A systematic review of current systematic reviews. *Current Opinion in Cardiology*, 32(5), 541–556.
<https://doi.org/10.1097/HCO.0000000000000437>
- World Health Organization. (2018). *Global action plan on physical activity 2018–2030: More active people for a healthier world*. World Health Organization. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241514187>
- World Health Organization. (2020). *WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour*. <https://iris.who.int/handle/10665/336656>
- World Health Organization. (2022). Global status report on physical activity 2022. <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/8804f1b0-dbae-4e58-a251-36fd14dc7e02/content>
- Yükseköğretim Kalite Kurulu. (2022). *2022 yılı yükseköğretim değerlendirme ve kalite güvencesi durum raporu*. Ankara.
https://www.yokak.gov.tr/documents/StatusReports/Durum_Raporu_2022.pdf
- Yükseköğretim Kurulu. (2024). *Üniversite izleme ve değerlendirme genel raporu 2024*. Ankara.
<https://www.yok.gov.tr/documents/documents/68be99a288f25.pdf>

İncelenen Proje Raporları ve Kurumsal Dokümanlar

- Akdeniz Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Antrenörlük Eğitimi Bölümü. (2024). *İlkokul öğrencilerine hareket ve beceri eğitimi ile egzersiz alışkanlığı kazandırma projesi: Toplumsal Duyarlılık ve Katkı Projeleri proje değerlendirme ve sonuç raporu*.
<https://webis.akdeniz.edu.tr/uploads/1214/content/YeniKlasor/2023-24%20Proje%20K%C3%BCnyeleri/YeniKlasor/AEB-2024-P5.pdf>
- Akdeniz Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Antrenörlük Eğitimi Bölümü. (2024). *Obez ve aşırı kilolu ortaokul öğrencilerine düzenli egzersiz ve sağlıklı beslenme alışkanlığı kazandırma projesi (2. yıl): Toplumsal Duyarlılık ve Katkı Projeleri proje değerlendirme ve sonuç raporu*.

<https://webis.akdeniz.edu.tr/uploads/1214/content/YeniKlasor/2023-24%20Proje%20K%C3%BCnyeleri/AEB-2024-P2%20Proje%20K%C3%BCnyesi.pdf>

Akdeniz Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Rekreasyon Bölümü. (2021). *Obez bireylerde direnç egzersizi, diyet değil yaşam tarzı: Toplumsal Duyarlılık ve Katkı Projeleri proje formu.*

<https://webis.akdeniz.edu.tr/uploads/1214/content/YeniKlasor/2021-2022%20Proje%20K%C3%BCnyeleri/Obez-bireylerde-direnç-egzersizi-kunye.pdf>

Akdeniz Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Rekreasyon Bölümü. (2023). *Akdeniz anemili bireylerde rekreasyonel fitness (dinçlik) ve wellness (esenlik) uygulamaları: Toplumsal Duyarlılık ve Katkı Projeleri proje formu.*

<https://webis.akdeniz.edu.tr/uploads/1214/content/YeniKlasor/Projeler/REK-2023-P17-Proje-Formu-Final.pdf>

Akdeniz Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Rekreasyon Bölümü. (2024). *Yaşlı bireylerde ritim eğitimi ve dansla fiziksel aktivitelerini artırma projesi: Toplumsal Duyarlılık ve Katkı Projeleri proje değerlendirme ve sonuç raporu.*

<https://webis.akdeniz.edu.tr/uploads/1214/content/YeniKlasor/2023-24%20Proje%20K%C3%BCnyeleri/YeniKlasor/REK-2024-P2.pdf>

Akdeniz Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Spor Yöneticiliği Bölümü. (2025). *Akdeniz Üniversitesi idari personeline sağlık için spor projesi (3. yıl): Toplumsal Duyarlılık ve Katkı Projeleri proje formu.*

<https://webis.akdeniz.edu.tr/uploads/1214/content/YeniKlasor/2024-2025%20Projeler/Proje%20Formlar%C4%B1/SYB-2025-P2%20Proje%20Formu.pdf>

Akdeniz Üniversitesi Spor Bilimleri Fakültesi Spor Yöneticiliği Bölümü. (2025). *Lösemili çocuklara eğitsel ve rekreatif etkinliklerle destek projesi: Toplumsal Duyarlılık ve Katkı Projeleri proje formu.*

<https://webis.akdeniz.edu.tr/uploads/1214/content/YeniKlasor/2024-2025%20Projeler/Proje%20Formlar%C4%B1/SYB-2025-P3%20Proje%20Formu.pdf>

Allianz Türkiye. (t.y.). *Allianz Motto Hareket.*

https://www.allianz.com.tr/tr_TR/faaliyetlerimiz/spor/allianz-motto-hareket.html

Atatürk Üniversitesi Toplumsal Duyarlılık Projeleri Uygulama ve Araştırma Merkezi. (2021). *Hareketliyim, sağlıklıyım.*

<https://tdm.atauni.edu.tr/hareketliyim-saglikliyim/>

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Sağlık Bilimleri Fakültesi. (2022). *Okullarda Omurga Sağlığı Projesi.*

<https://www.iuc.edu.tr/tr/haber/saglik-bilimleri-fakultesinden-okullarda-omurga-sagligi-projesi-300066004B004600540069004E006E0064007600580039007900700046006200610041004F003200370077003200>

Liv Hospital. (2021). *Güç Yüreğimizde* [Sosyal sorumluluk projesi].

https://www.youtube.com/watch?v=atu0O_b2rRE

Pfizer Türkiye. (2013). *Sen Çok Yaşa Günü*

<https://www.pfizer.com.tr/sagliginiz/hastaliklar-ve-tedavileri/sen-%C3%A7ok-ya%C5%9Fa>

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Sosyal Sorumluluk ve Gönüllülük Çalışmaları Koordinatörlüğü. (2016). *Sağlıklı yaşam için fiziksel aktivite.*

<https://sosyalsorumluluk.beun.edu.tr/saglik-ve-spor-projeleri/saglikli-yasam-icin-fiziksel-aktivite.html>

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Sosyal Sorumluluk ve Gönüllülük Çalışmaları Koordinatörlüğü. (2016). *Sağlığını ölçüyoruz, yaşamına hareket katıyoruz.*

<https://sosyalsorumluluk.beun.edu.tr/sagligini-olcuyoruz-yasamina-hareket-katiyoruz.html>

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Sosyal Sorumluluk ve Gönüllülük Çalışmaları Koordinatörlüğü. (2016). *Yaşamına hareket kat.*

<https://sosyalsorumluluk.beun.edu.tr/saglik-ve-spor-projeleri/yasamina-hareket-kat.html>

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Sosyal Sorumluluk ve Gönüllülük Çalışmaları Koordinatörlüğü. (2016). *Obeziteyle mücadele için bir pedal da sen çevir.*

<https://sosyalsorumluluk.beun.edu.tr/saglik-ve-spor-projeleri/obeziteyle-mucadele-icin-bir-pedal-da-sen-cevir.html>

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Sosyal Sorumluluk ve Gönüllülük Çalışmaları Koordinatörlüğü. (2016). *Obeziteye karşı mücadele hareketi.*

<https://sosyalsorumluluk.beun.edu.tr/saglik-ve-spor-projeleri/obeziye-karsi-mucadele-hareketi.html>

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Sosyal Sorumluluk ve Gönüllülük Çalışmaları Koordinatörlüğü. (2016). *NO-bezite.*

<https://sosyalsorumluluk.beun.edu.tr/saglik-ve-spor-projeleri/no-bezite.html>

7. Bölüm

Otizm Spektrum Bozukluğu Olan Bireylerde Fiziksel Aktivite ve Egzersiz Uygulamaları¹

Hatice ÇABUK², Fatma ÇELİK KAYAPINAR^{2*}

ÖZET

Bu derlemenin amacı, otizm spektrum bozukluğu olan öğrencilerde fiziksel aktivite, egzersiz ve spor alanında 2022–2025 yılları arasında yayımlanan çalışmaların incelenerek egzersiz uygulamalarının ortak özelliklerini, etkilerini, uygulama biçimlerini ve mevcut literatürdeki eksiklikleri ortaya koymaktır.

Çalışma kapsamında Google Akademik, Scopus ve DergiPark veri tabanları taranmış; “otizm”, “fiziksel aktivite”, “egzersiz” ve “spor” anahtar kelimeleri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında 6 nicel, 1 nitel araştırma makalesi olmak üzere toplam yedi kaynak değerlendirilmiştir.

İncelenen çalışmalar, OSB’li çocuklarda fiziksel aktivite ve egzersiz uygulamalarının denge, koordinasyon, motor beceri, beden farkındalığı, dikkat, uyku, yaşam kalitesi, sosyal etkileşim ve davranış alanlarında olumlu etkiler oluşturduğunu göstermektedir. Özellikle spor aktiviteleri, yüzme, temel motor beceri eğitimleri ve düzenli beden eğitimi uygulamalarının çocukların fiziksel, bilişsel ve psikososyal gelişimine katkı sağladığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, birçok çalışmada müdahale süreleri, sıklığı ve yoğunluğu gibi egzersiz reçetesi unsurlarının yeterince ayrıntılı raporlanmadığı ve bu durumun standart bir egzersiz protokolü geliştirilmesini zorlaştırdığı görülmüştür. Ayrıca motor gelişimin sosyal ve bilişsel gelişimle birlikte ele alınması gerektiği; görsel destek, rutin oluşturma, görev analizi ve video modelleme gibi yapılandırılmış eğitim stratejilerinin müdahalelerde önemli olduğu vurgulanmaktadır.

Sonuç olarak, OSB’li bireylerde egzersiz programlarının bireysel özellikler dikkate alınarak yapılandırılması gerektiği ve bu programların yalnızca motor gelişimi değil, aynı zamanda sosyal katılım ve günlük yaşam becerilerini de destekleyen bütüncül yaklaşımlar olması gerektiği söylenebilir. Gelecek çalışmalarda daha büyük örneklemlili, kontrollü ve ayrıntılı protokoller içeren araştırmalara ihtiyaç vardır.

Anahtar Kelimeler: Otizm; fiziksel aktivite, egzersiz; spor

¹ Bu bölüm V. Uluslararası Sağlık Bilimleri Öğrenci Kongresinde (V. SAGOK 2026) sunulmuş, özet bildirisi olarak yayınlanmıştır.

² İzmir Demokrasi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Egzersiz ve Spor Bilimleri Bölümü, İzmir, Türkiye.2529103001@std.idu.edu.tr

³ İzmir Demokrasi Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Egzersiz ve Spor Bilimleri Bölümü, İzmir, Türkiye.fatma.celik@idu.edu.tr, *Sorumlu yazar

Physical Activity and Exercise Applications in Individuals with Autism Spectrum Disorder

ABSTRACT

The aim of this review is to examine studies published between 2022 and 2025 on physical activity, exercise, and sports in students with autism spectrum disorder (ASD), in order to identify the common characteristics, effects, implementation methods of exercise interventions, and gaps in the existing literature.

Within the scope of this study, Google Scholar, Scopus, and DergiPark databases were searched using the keywords “autism,” “physical activity,” “exercise,” and “sport.” A total of seven studies, including six quantitative and one qualitative research article, were included in the review.

The reviewed studies indicate that physical activity and exercise interventions in children with ASD have positive effects on balance, coordination, motor skills, body awareness, attention, sleep, quality of life, social interaction, and behavior. In particular, sports activities, swimming, fundamental motor skill training, and regular physical education programs were found to contribute to the physical, cognitive, and psychosocial development of children. However, it was observed that many studies did not provide sufficient detail regarding exercise prescription variables such as duration, frequency, and intensity, which limits the development of a standardized exercise protocol. In addition, it is emphasized that motor development should be considered in relation to social and cognitive development, and that structured instructional strategies such as visual supports, routine establishment, task analysis, and video modeling are important in interventions.

In conclusion, exercise programs for individuals with ASD should be tailored according to individual characteristics, and such programs should be holistic approaches that support not only motor development but also social participation and daily living skills. Future research should focus on studies with larger samples, controlled designs, and more detailed intervention protocols.

Keywords: Autism; physical activity; exercise; sport

GİRİŞ

Otizm Spektrum Bozukluğu (OSB), sosyal iletişim ve etkileşimde güçlükler ile sınırlı ve tekrarlayıcı davranış örüntüleriyle karakterize, erken çocukluk döneminde başlayan nörogelişimsel bir bozukluktur (WHO). OBS’li bireylerin temel özellikleri sosyal etkileşimde yetersizlikler, dil ve iletişim becerilerindeki yetersizlikler ile takıntılı ve sıra dışı davranış örüntüleridir. Bu kapsamda akranlarıyla etkileşim kurmada isteksizlik, göz teması kuramama, beden dilini etkili kullanamama, konuşmayı başlatma ve sürdürmede güçlük, soyut ve mecazi ifadeleri anlamada zorlanma, belirli nesnelere karşı yoğun ilgi ve tekrarlayıcı el ve beden hareketleri gibi belirtiler görülmektedir(Çamlıbel, 2025).

Otizm spektrum bozukluğu, bireylerin motor yeteneklerinde belirgin gelişimsel geriliklere yol açarak günlük aktivitelerde, eğitim başarılarında ve sosyal ilişkilerde büyük zorluklar yaratmaktadır. Bu zorluklar bireylerin hem fiziksel hem de ruhsal gelişimlerini olumsuz yönde etkileyerek yaşam kalitesinin önemli ölçüde düşmesine neden olabilir. Özellikle kaba motor ve ince motor yeteneklerindeki sorunlar OSB’li bireylerin bağımsız bir yaşam sürme yeteneklerini kısıtlayabilir. Kaba motor yeteneklerde denge, koordinasyon ve yürüyüş gibi temel hareketlerdeki sorunlar dikkat çekerken ince motor yeteneklerde el- göz koordinasyonu, yazı yazma ve nesneleri kullanma gibi alanlarda eksiklikler ön plana çıkmaktadır(Fournier ve ark. , 2010). Bu beceriler eksiklikler, insanların hem sosyal etkileşimlerde hem de eğitim ortamlarında yaşadıkları gündelik zorlukların başlıca sebeplerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Yapılan çalışmalar OSB’li bireylerdeki motor beceri yetersizliklerinin sadece fiziksel yönlerini etkilemekle kalmayıp aynı zamanda bilişsel ve sosyal yetenekler üzerinde de önemli bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır. Örneğin; denge, koordinasyon ve duruş kontrolü konusundaki eksiklikler bireyin spor faaliyetlerine katılımını engellemekle kalmaz aynı zamanda günlük yaşamada hareketlerini planlama ve gerçekleştirme yeteneklerini de kısıtlamaktadır(Memari ve ark., 2013).

Fiziksel aktivite ve spor otizmlili bireylerde motor becerileri geliştirmesinin yanında sosyal becerileri ve duygusal düzenlemenin artmasında önemlidir. Obs li bireyler genellikle motor becerilerde gecikmeler ve denge koordinasyon sorunları yaşamaktadırlar bu sebeple fiziksel aktiviteler bu becerilerin geliştirilmesinde etkili bir yöntemdir. Bunun yanında bu tarz aktiviteler bireylerin sosyal etkileşimlerini artırmak ve duygusal uyumları sağlamada önemli katkılar sunmaktadır. Her ne kadar fiziksel aktivite ve egzersiz uygulamalarının OSB’li bireyler üzerindeki etkileri inceleyen çalışmalar giderek artmış olsa da bu çalışmaların bulgularını bütüncül bir bakış açısıyla değerlendiren güncel derlemelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğrultuda bu derleminin amacı, otizm

spektrum bozukluğu olan öğrencilerde fiziksel aktivite, egzersiz ve spor alanında 2022–2025 yılları arasında yayımlanan çalışmaların incelenerek egzersiz uygulamalarının ortak özelliklerini, etkilerini, uygulama biçimlerini ve mevcut literatürdeki eksiklikleri ortaya koymaktır.

YÖNTEM

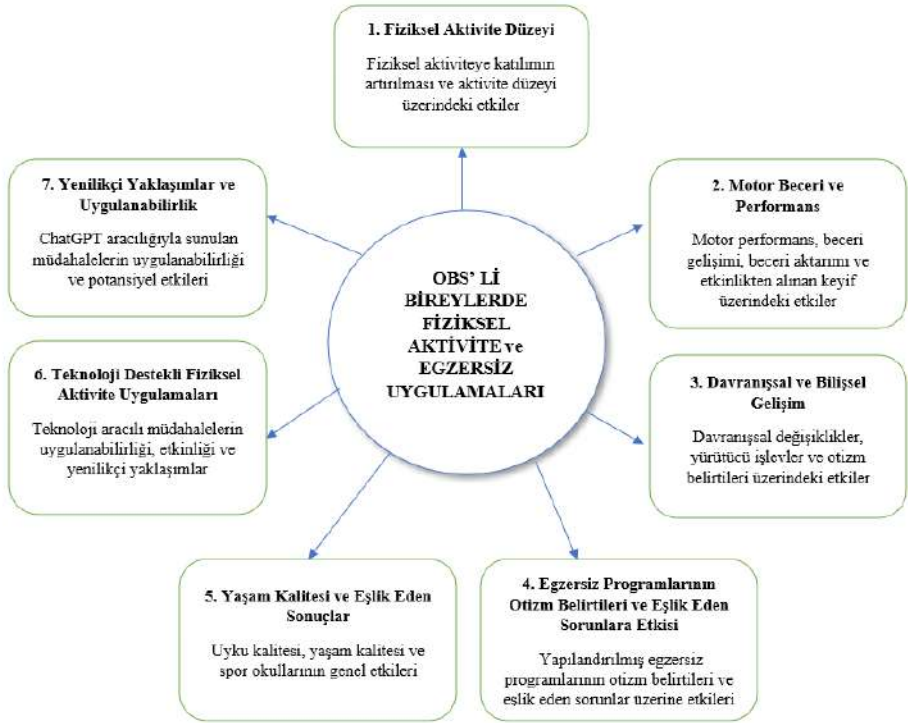
Bu derleme kapsamında 2022-2025 yılları arasında yayınlanan Türkçe ve İngilizce makaleler değerlendirilmiştir. Literatür taraması Google Akademik, Scopus ve DergiPark veri tabanları taranmış gerçekleştirilmiştir. Tarama sürecinde “otizm”, “fiziksel aktivite”, “egzersiz” ve “spor” anahtar kelimeleri kullanılmıştır. Belirlenen kriterleri karşılayan toplam 7 çalışma (2 Türkçe 5 İngilizce) değerlendirilmeye alınmıştır.

Dahil Edilme Kriterleri

- 2022-2025 yılları arasında yayımlanmış çalışmalar
- Otizm spektrum bozukluğu tanısı almış bireyleri kapsayan araştırmalar
- Türkçe ve İngilizce tam metnine ulaşılabilen yayınlar

Dışlanma Kriterleri

- Tam metnine ulaşılamayan çalışmalar
- Editöre mektup, özet bildiri, kitap tanıtımı ve görüş yazıları
- OSB dışındaki nörogelişimsel bozuklukları konu alan çalışmalar
- Fiziksel aktivite ve egzersiz müdahalesi içermeyen çalışmalar



Şekil 1. Otizm Spektrum Bozukluğu Olan Bireylerde Fiziksel Aktivite ve Egzersiz Uygulamalarına İlişkin Tematik Ağ Haritası

Not: Tematik ağ haritası araştırmacı tarafından incelenen yedi çalışmanın ortak temaları esas alınarak oluşturulmuştur.

BULGULAR

Bu bölümde derlemeye dahil edilen çalışmalar ve özellikleri sunulmaktadır.

Tablo 1. Derlemeye Dahil Edilen Çalışmalar

Yazar / Yıl	Araştırma Yöntemi	Araştırmacının Amacı	Örneklem	Temel Bulgular
Yarımkaya ve Nicel ark.,(2023)		OBS'li çocuklarda Zoom aracılığıyla sunulan fiziksel aktivite programının çocukların fiziksel aktivite düzeyi üzerindeki etkisini incelemektir.	Zoom 22 aile	Zoom aracılığı ile sunulan fiziksel aktivite programları OBS' li çocukların fiziksel aktivite düzeyini artırmıştır.
Hıdıroğlu ve Nitel ark.,(2022)		Otizmlili çocukların spor etkinliklerine katılımının davranışsal değişiklikler üzerindeki etkisini ebeveyn görüşleriyle değerlendirmeyi amaçlamaktadır.	spor 7 aile	Spor etkinliklerinin, araştırmamızda yer alan Otizm Spektrum Bozukluğuna sahip bireylerde, genel anlamda fiziksel, ruhsal, davranışsal ve sosyal problemleri aşmalarında olumlu yönde etkili olduğu ortaya çıkmıştır.

Moraes ve ark.,(2022)	Nicel	Sanal ve gerçek ortamlarda 22 çocuk yapılan uygulamaların, Otizm Spektrum Bozukluğu olan bireylerin motor performansı, fiziksel aktivite düzeyi ve etkinlikten aldıkları keyif üzerindeki etkilerini değerlendirmek ve beceri aktarımını incelemektir.	Sanal gerçeklik etkinliği daha yüksek zorluk düzeyine sahip olmasına rağmen, gerçek ortama beceri aktarımı açısından daha fazla kazanım sağlamıştır.
Ji ve ark.,(2022)	Nicel	Sanal eğitim ile fiziksel 100 çocuk egzersizin OBS’li çocukların yürütücü işlevleri üzerindeki etkilerini değerlendirmek.	Sanal eğitim ve fiziksel egzersizin yürütücü işlevlerin geliştirilmesinde etkili olduğunu, ancak bu kazanımların sürdürülebilmesi için uygulamaların devam ettirilmesinin önemli olabileceğini göstermektedir.
Toscano ve ark.,(2022)	Nicel	Otizm Spektrum Bozukluğu 229 çocuk olan çocuk ve ergenlerde 48 haftalık yapılandırılmış fiziksel egzersiz programının, otizm belirtileri ve eşlik eden sorunlar üzerindeki etkisini değerlendirmektedir.	48 haftalık yapılandırılmış fiziksel egzersiz programı, Otizm Spektrum Bozukluğu olan çocuk ve ergenlerde sosyal etkileşim sorunları, dikkat eksikliği, duygusal tepkisellik, tekrarlayıcı davranışlar ve uyku sorunlarını azaltmıştır.
Balcı ve ark.,(2024)	Nicel	Otizm spektrum bozukluğu 80 ebeveyn olan çocuklarda spor okullarının fiziksel aktivite düzeyine, uyku ve yaşam kalitesine dönük olumlu ya da olumsuz etkilerini belirlemektir.	Spor okullarının otizm spektrum bozukluğu tanısı almış olan çocukların fiziksel aktivite düzeyine, uyku ve yaşam kalitesine olumlu etkisi olduğuna aynı zamanda da ebeveyn yaşam kalitesini de olumlu yönde etkilediği sonucuna ulaşmıştır
Aydemir, (2025)	Nicel	Bu çalışmanın amacı, 26 aile ChatGPT aracılığıyla sunulan fiziksel aktivite müdahalelerinin ASD’li çocuklarda uygulanabilirliğini ve potansiyel etkililiğini değerlendirmektedir.	Araştırma bulguları, ChatGPT aracılığıyla sunulan fiziksel aktivitelerin ASD’li çocuklarda fiziksel aktiviteyi artırmak için umut verici bir müdahale yöntemi olabileceğini göstermektedir.

Tablo 1 incelendiğinde çalışmaların 2022-2025 yılları arasında yayımlandığı görülmektedir. İncelenen çalışmaların tamamı özgün araştırma (orijinal makale) niteliğindedir. Çalışmaların 6’ sı nicel 1’i ise nitel araştırma yöntemi ile yürütülmüştür. Çalışmaların 2’ si Türkçe 5’ i ise İngilizce olarak yayımlanmıştır. Tüm çalışmaların örneklemi Otizm spektrum tanısı olan çocuklar ve aileleri oluşturmaktadır. Araştırmalarda uygulanan fiziksel aktivite ve egzersiz programlarının çocukların fiziksel aktivite düzeyini artırdığı belirlenmiştir.

Ayrıca ailelerin çocuklarıyla ev ortamında veya çevrim içi platformlar aracılığıyla fiziksel aktiviteye katılımının mümkün olduğu ve uygulamaların olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür. İncelenen çalışmalarda fiziksel aktivite ve egzersiz programlarının sosyal etkileşim, yürütücü işlevler ve uyku kalitesini iyileştirdiği duyuşsal tepkisellik ile tekrarlayıcı davranışları azalttığı belirlenmiştir. Genel olarak değerdendirildiğinde fiziksel aktivite ve egzersiz uygulamalarının otizm spektrum bozukluğu olan çocukları fiziksel, ruhsal ve davranışsal açıdan olumlu yönde etkilediği söylenebilir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

İncelenen çalışmalarla ilgili genel bir değerdendirme yapıldığında, otizm spektrum bozukluğu (OSB) yaşıyan bireylerde uygulanan spor faaliyetleri ve egzersiz programlarının motor, bilişsel, sosyal ve davranışsal alanlarda olumlu sonuçlar doğurduğu görülmektedir. Farklı egzersiz türleri, uygulama süreleri ve yöntemleri kullanılmış olmasına rağmen benzer bulgular elde edilmesi fiziksel aktivitenin OSB' li bireyler üzerindeki etkilerinin tutarlı olduğunu düşündürmektedir. Bu durum fiziksel aktivitenin sadece motor becerileri geliştiren bir müdahale olmadığını aynı zamanda bilişsel süreçleri ve sosyal uyumu destekleyen bütünsel bir yaklaşım sunduğunu göstermektedir.

Motor gelişim açısından Moraes ve arkadaşları (2022) çalışmasında sanal gerçeklik teknolojisiyle yapılan motor beceri eğitimlerinin motor performansı artırdığını ve bu kazanımların günlük yaşama entegre edilebileceğini ifade etmiştir. Aydemir (2025), ise ChatGPT destekli bir fiziksel aktivite programının çocukların etkinlik düzeyinin yükselttiğini göstermiştir. Benzer şekilde Yarımkaya ve arkadaşları (2023) Zoom üzerinden sunulan fiziksel aktivite programının da OSB' li çocukların fiziksel aktivite düzeyinde artış sağladığını bildirmiştir. BU programlara ebeveynlerin katılımının da önemli bir rolü olduğu söylenebilir. Nitekim aile desteğinin çocukların motivasyonunu artırarak programlara düzenli katılımını sağladığı ve müdahalelerin arttığı düşünülmektedir. Ayrıca Balcı ve ekibi (2024) yaptıkları araştırmada spor okullarının otizm spektrum bozukluğu olan çocukların fiziksel aktivite düzeyini uyku kalitesini ve yaşam standartlarını olumlu yönde etkilediğini ifade etmiş, bunun ebeveynlerin yaşam kalitesine de olumlu yansımaları olduğu belirtilmiştir.

Bilişsel gelişim açısından bakıldığında Ji ve arkadaşlarının (2022) çalışmasında fiziksel egzersizin yürütücü işlevler üzerindeki etkisinin sanal eğitimle eşdeğer seviyede olduğu tespit edilmiş, bu durum fiziksel aktivitenin motor becerilerin yanı sıra dikkat, planlama ve bilişsel esneklik gibi yürütücü işlevleri de desteklediğini göstermektedir. Ayrıca gözden geçirilen araştırmalar fiziksel aktivitenin sosyal ve davranışsal gelişim açısında da önemli katkılar

sağladığını ortaya koymaktadır. Toscano ve ekibi (2022) uzun süreli yapılandırılmış egzersiz programlarının sosyal etkileşimi artırırken dikkat eksikliği, stereotipik hareketler ve uyku problemlerini azalttığını bildirmiştir. Aynı şekilde Hıdıroğlu ve arkadaşları (2022) ebeveynlerin görüşlerine dayanarak düzenli spor yapmanın iletişim, göz teması, dikkat, denge ve sosyal uyum üzerinde olumlu sonuçlar doğurduğunu dile getirmiş ve bunun bireylerin çok yönlü gelişimini destekleyen etkili bir yöntem olduğunu vurgulamıştır.

Genel olarak değerlendirildiğinde araştırılan çalışmalar farklı müdahale türleri ve yöntemleri kullanmış olsa da fiziksel aktivite düzeyi, yürütücü işlevler, sosyal etkileşim, iletişim becerileri ve davranışsal belirtiler üzerinde genel olarak olumlu sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

Bununla birlikte müdahale türleri, süreleri ve örneklem özelliklerindeki farklılıklar göz önünde bulundurulduğunda hangi egzersiz yönteminin daha etkili olduğunu belirlemek amacıyla daha fazla yüksek kaliteli, uzun süreli ve kontrollü araştırmalara ihtiyaç duyulduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR

- Aydemir, U. (2025). ChatGPT-delivered physical activity intervention for children with autism spectrum disorder: A pre-post feasibility study. *JMIR Human Factors*, 12, e71119. <https://doi.org/10.2196/71119>
- Balcı, M., Şimşek, N. M., & Işık, Ö. (2024). Otizm spektrum bozukluğu olan çocuklarda spor okullarının fiziksel aktivite düzeyine, uyku ve yaşam kalitesine etkisi. *Fikriyat*, 4(1), 12–26.
- Çamlıbel, B. B. (2025). Fiziksel aktivite ve sporun otizm spektrum bozukluğu olan bireylerin iletişim, sosyal ve motor becerileri üzerindeki etkileri: Sistematik bir derleme.
- Fournier, K. A., Hass, C. J., Naik, S. K., Lodha, N., & Cauraugh, J. H. (2010). Motor coordination in autism spectrum disorders: A synthesis and meta-analysis. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 40(10), 1227–1240. <https://doi.org/10.1007/s10803-010-0981-3>
- Hidroğlu, S., Peker, Ş., Karavuş, M., Tepe, P., Akçabey, S., Kaya, A. Ö., ... & Save, D. (2022). Otizmde spor etkinliklerinin davranış ve sosyalleşme üzerindeki olası etkilerini değerlendiren niteliksel bir çalışma. *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Tıp Dergisi*, 9(3), 277–284.
- Ji, C., Yang, J., Lin, L., & Chen, S. (2022). Executive function improvement for children with autism spectrum disorder: A comparative study between virtual training and physical exercise methods. *Children*, 9(4), 507. <https://doi.org/10.3390/children9040507>
- Memari, A. H., Ziaee, V., Shayestehfar, M., Ghanouni, P., Mansournia, M. A., & Moshayedi, P. (2013). Cognitive flexibility impairments in children with autism spectrum disorders: Links to age, gender and child outcomes. *Research in Developmental Disabilities*, 34(10), 3218–3225.
- Moraes, Í. A., Lima, J. A., Silva, N. M., Simcsik, A. O., Silveira, A. C., Menezes, L. D., ... & Monteiro, C. B. (2022). Effect of longitudinal practice in real and virtual environments on motor performance, physical activity and enjoyment in people with autism spectrum disorder: A prospective randomized crossover controlled trial. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(22), 14668. <https://doi.org/10.3390/ijerph192214668>
- Toscano, C. V., Ferreira, J. P., Quinaud, R. T., Silva, K. M., Carvalho, H. M., & Gaspar, J. M. (2022). Exercise improves the social and behavioral skills of children and adolescents with autism spectrum disorders. *Frontiers in Psychiatry*, 13, 1027799. <https://doi.org/10.3389/fpsy.2022.1027799>

World Health Organization. (n.d.). Autism spectrum disorders.
<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/autism-spectrum-disorders>

Yarımkaya, E., Esentürk, O. K., İlhan, E. L., Kurtipek, S., & Işım, A. T. (2023). Zoom-delivered physical activities can increase perceived physical activity level in children with autism spectrum disorder: A pilot study. *Journal of Developmental and Physical Disabilities*, 35(2), 189–207.
<https://doi.org/10.1007/s10882-021-09826-7>