ارزیابی دستگاه بازگشت عمودی توپ به کمک روش‌های پردازش تصویر

سجاد مهنان[۱]، محمودرضا گلزاریان*[۲]، فاطمه کاظمی[۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد، s_mahnan@mail.um.ac.ir

[*] دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد، m.golzarian@um.ac.ir

[۳] دانشیار گروه علوم باغبانی و فضای سبز، دانشگاه فردوسی مشهد، fatemeh.kazemi@um.ac.ir

چکیده

به دلیل اتفاقاتی که در رویدادهای ورزشی رخ می‌دهد چمن ورزشی باید مقاومت لازم در برابر تنش‌های وارده را داشته باشد. ازجمله تنش‌ها عبارت‌اند از تکل زدن‌ها، افتادن‌ها و ضربه‌ها که منجر به سایش و تخریب چمن می‌شوند. به دلیل آنکه چمن ورزشی باید شرایطی ایمن برای ورزشکاران فراهم نموده و از حداقل استانداردهای لازم مانند تراکم، یکنواختی و نرمی برخوردار باشد باید ارزیابی شوند. این ارزیابی به دو بخش کیفیت چمن که توسط استانداردهای NTEP انجام‌شده و آزمون‌های ورزشی که طی تحقیقات به‌دست‌آمده‌اند تقسیم می‌شوند. آزمون‌های ورزشی شامل اندازه‌گیری جهندگی بازگشت توپ، ضریب بازگشت‌پذیری، غلتاندن توپ، چرخش و اصطکاک، اصطکاک کشش و سفتی می‌شوند. در این پژوهش به بررسی دو مورد اول بر اساس استانداردهای تعریف‌شده توسط فیفا برای توپ فوتبال پرداخته‌شده است. طبق این استانداردها توپ فوتبال باید از ارتفاع ۲ متری بر روی سطح چمن رها شده و ارتفاع بازگشت آن اندازه‌گیری شود. با به دست آوردن ارتفاع بازگشت می‌توان جهندگی بازگشت توپ و ضریب بازگشت‌پذیری را محاسبه کرد. لذا نیازمند دستگاه رهاساز توپ بوده تا این ارزیابی به کمک آن صورت گیرد. به‌منظور بررسی دستگاه رهاساز، بر اساس استانداردهای فیفا باید توپ بر روی سطح بتنی رها شود. اگر ارتفاع بازگشت توپ بین ۱/۳۵±۰/۰۳ متر باشد آزمون صحیح است. به همین خاطر از یک دوربین با سرعت بالای تصویربرداری استفاده‌شده تا برخورد توپ با زمین را تصویربرداری کند. به کمک نرم‌افزار MATLAB و به روش پردازش تصویر فریم‌های مطلوب پردازش‌شده و با ٤ تکرار ارتفاع ۱۳٤ سانتی‌متر برای توپ ثبت‌شده که نشان‌دهنده‌ی دقت دستگاه است.

کلمات کلیدی: جهندگی بازگشت توپ، ضریب بازگشت‌پذیری، دستگاه رهاساز توپ، پردازش تصویر

Evaluation of Vertical Ball Rebound Device with Image Processing Techniques

Sajad Mahnan[1], Mahmood Reza Golzarian[2*], Fatemeh Kazemi[3]

[1]M. Sc. Student of Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, s_manhan@mail.um.ac.ir

[2*]Associated Professor, Biosystems Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, m.golzarian@um.ac.ir

[3]Associated Professor, Horticultural Sciences and Landscape Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, fatemeh.kazemi@um.ac.ir

ABSTRACT

[۱]- محمودرضا گلزاریان، مشهد دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، دپارتمان مهندسی مکانیک بیوسیستم، ۰۵۱-۳۸۸۰۵۸۰۵

Sports turfgrass should be durable enough to resist and quickly overcome the stresses caused by sporting events. These stresses are consist of slides and/or tackles, falls, footing and crushioning for impacts. For this reason sports turfgrass should evaluate about providing safety for athletes and meeting some regulations such and density, uniformity and smoothness. This evaluation divides in two parts, NTEP standards and sports assessments. Sports assessments include measuring ball rebound resilience, coefficient of restitution, ball roll, friction and traction, spin and friction and hardness. This research addresses first two standards according to FIFA standards for soccer ball. Based on these standards, soccer ball should be dropped from 2m height on turfgrass and rebound height should be measured. Ball rebound resilience and coefficient of restitution could be calculated by gaining rebound height. So there is a need to vertical ball rebound device to evaluate this test. According to FIFA standards, ball should be released on cement surface for calibration test. If rebound height range was 1.35±0.03 m, the test is true. So it is needed a high-speed camera to filmed the ball movements and process the best frames with MATLAB to calculate the rebound height. This test was conducted in 4 repeats and the result was 134 cm which shows accuracy of vertical ball rebound device.

Keywords: Ball rebound resilience, Coefficient of restitution, Vertical ball rebound, Image processing

۱- مقدمه

چمن ورزشی[1]را می‌توان به‌عنوان محیطزیست چمن[2] و خاک که برای وقایع ورزشی سریع و درگیرانه مانند فوتبال آمریکایی و فوتبال مدیریت می‌شود تعریف کرد. چمن ورزشی باید یک سطح بازی ایمن برای ورزشکاران فراهم کرده و باید مقررات ورزشی مربوطه را رعایت کند. مطلوب است که چمن به‌اندازه‌ی کافی مقاوم بوده و به‌سرعت بر تنش‌های ایجادشده در وقایع ورزشی غلبه کند (Aldahir & McElroy, 2014). بسیار مهم است تا اصطلاحات «turf» از چمن و چمن ورزشی را از زمین ورزشی[3]یا زمین فوتبال[4]جدا کرد. زمانی که اصطلاح چمن اشاره به تنها بخشی از گیاهان می‌کند، turf شامل قسمتی از چمن‌ها می‌شود که رشد متوسط دارند (Turgeon, 2011). چمن ورزشی به روش‌های مدیریت مرتبط به turf اشاره می‌کند که چمن و اجزای خاک را برای وقایع ورزشی آماده می‌کند. زمین ورزشی یا زمین فوتبال اشاره به ساختمان و پیاده‌سازی ترکیب و طراحی موردنیاز برای وقایع ورزشی خاص است (Aldahir & McElroy, 2014).

بر اساس ASTM (۲۰۱۱)، یک چمن ورزشی ایدئال باید متراکم، یکنواخت، نرم و طبیعتی قوی[6]داشته باشد به‌طوری‌که سبب افزایش ایمنی شده و جای پایی پایدار برای ورزشکار، نرمی برای ضربه‌ها، افتادن‌ها، تکل ها و خنکی سطح در حین هوای گرم را فراهم کند. بااین‌حال، با این حال عوامل ذکر شده تنها برای چمن بوده و مشخص نیست که ASTM اجزای خاک را برای این تعریف منظور کرده است یا خیر.. اگر اجزای خاک در نظر گرفته شود، turf اصطلاح مناسب‌تری خواهد بود. گذشته از تفاوت‌های معنایی، تعریف ASTM دو بعد کلیدی مرتبط با چمن ورزشی ایدئال را بیان می‌کند: ویژگی‌های turf و/یا چمن و تأثیر آن بر ورزش‌ها و بازیکنان (ASTM,

[1]Sports Turf

[2]Turfgrass

[3]Sport Field

[4]Pitch

[5]American Society for Testing and Materials (ASTM)

[6]Vigorous Natural

2011). در این مطالعه ابتدا استانداردهای قابلیت بازی و تأثیر آن‌ها بر ایمنی بررسی‌شده و سپس به روش‌های ارزیابی آن‌ها پرداخته می‌شود.

۱-۱- قابلیت بازی و سایش چمن ورزشی

قابلیت بازی[1] چمن ورزشی اصطلاحی است که به نقش مؤثر زمین ورزشی در اجرای موفق، بدون محدودیت یک ورزش اشاره می‌کند .اجزای کلیدی قابلیت بازی شامل چگونگی تعامل ورزشکار و توپ (یا شیئی که بازی می‌شود) با زمین چمن است. قابلیت بازی یک عامل چند وجهی و ذهنی[2] است. پژوهشگران باید برای انتقال ایده‌ی ذهنی «چگونگی بازی در زمین» به ایده‌ی واقعی[3] تلاش کنند تا اندازه‌گیری قابل‌سنجش شود. با پیشنهاد کاناوی و باکر (۱۹۹۳) قابلیت بازی یک زمین نتیجه‌ی فاکتورهای خاک و گیاه بوده که تحت تأثیر محیط‌زیست و تعامل آن‌ها با توپ یا شیء بازی و حرکت بازیکنان هستند (شکل ۱). نتیجه‌ی این تعامل‌ها سایش چمن ورزشی است. سایش نتیجه‌ی نیروهای واردشده به چمن در حین استفاده بوده، که منجر به تراکم خاک شده، چمن را پاره می‌کند، سبب خرد شدن و سایش بین چمن و پا شده[4] و گاهی باعث تخریب و مدفون شدن گیاه می‌شود. مقاومت سایشی[5] که به آن ماندگاری[6] هم گفته می‌شود، توانایی یک زمین در مقاومت و از پس سایش برآمدن و نگه‌داشتن شرایط بازی مناسب است. مفهوم مقاومت سایشی اشاره به آن دارد که مدیریت turf تشکیل شده است از مقاومت واقعی چمن به سایش (ماندگاری چمن) و قابلیت بهبود یافتن چمن (یا قابلیت بازیابی. سایش شامل تنش‌های واردشده به چمن ناشی از حرکات بازی، ابزارها و لباس های بازی و روش های نگهداری چمن دارد. این روزها، عملیات های بازی و آماده سازی در سایش دخیل هستند همانند حوادث غیر ورزشی که میتواند در یک زمین ورزشی رخ دهند ماند کنسرت‌ها، مهمانی‌ها و دور همی‌های اجتماعی. پژوهش‌های مقاومت سایش بیشتر به نگهداری شرایط بازی مناسب یک زمین ورزشی در طول یک فصل توجه کرده اما این پژوهش‌ها اشاره به مقاومت کوتاه‌مدت یا حین بازی نیز دارند (Aldahir & McElroy, 2014).

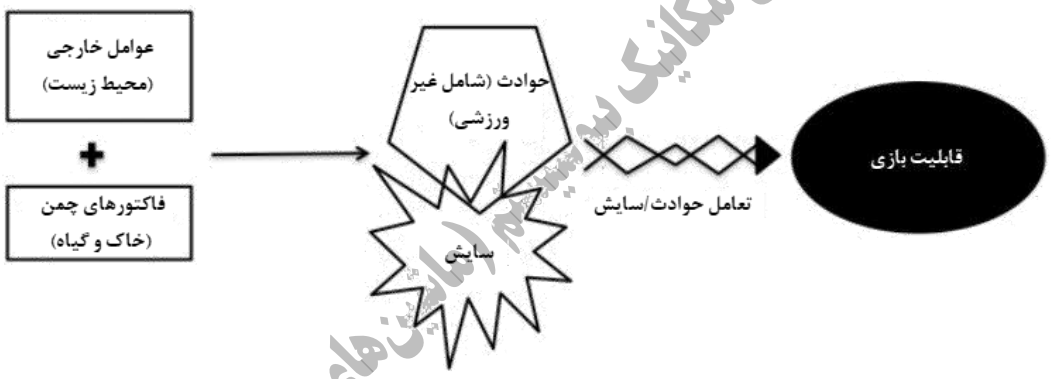


Figure 1. The conceptual model for playability

شکل ۱. مدل مفهومی برای قابلیت بازی (Aldahir & McElroy, 2014)

۱-۲- اندازه‌گیری‌های پژوهشی چمن

اندازه‌گیری‌های متداول استفاده‌شده برای ارزیابی ویژگی‌های چمن ورزشی را می‌توان به اندازه‌گیری کیفیت چمن و قابلیت بازی چمن تقسیم کرد. کیفیت چمن اغلب از طریق اندازه‌گیری‌های ذهنی ارزیابی می‌شود، بااین‌حال، اندازه‌گیری‌های واقعی نیز می‌توانند مورداستفاده قرار بگیرند. در آمریکا، اندازه‌گیری‌های ذهنی اغلب از دستورالعمل‌های برنامه‌ی ملی ارزیابی چمن (NTEP) پیروی می‌کنند (Morris & Shearman, 1998). کیفیت چمن ترکیبی است از ویژگی‌های چمن مانند رنگ، تراکم، بافت و تنش‌های ایجادشده

[1] Playability
[2] Subjective
[3] Objective
[4] Scuffing
[5] Wear Tolerance
[6] Durability

توسط آفت‌ها یا محیط‌زیست که می‌توانند به‌عنوان کیفیت کلی یا ارزیابی انفرادی این اندازه‌گیری‌ها درجه‌بندی شوند. لندشوت و مانسینو[1] (۲۰۰۰) اندازه‌گیری دیداری و ابزاری رنگ را در ۱۰ گونه‌ی بنت گرس مقایسه کردند و غیریکنواختی‌ای میان ارزیاب‌های مختلف با توجه به ارزیابی دیداری رنگ در مقیاس ۱ تا ۹ یافتند. تخمین دیداری معمولاً با درصد اندازه‌گیری می‌شود (Aldahir & McElroy, 2014). امتیازدهی درصد معمولاً برای اندازه‌گیری آسیب وارده به دلیل سایش، تنش‌های محیطی، پاتوژن‌ها و آفت‌ها، و آلودگی علف هرز مورد استفاده قرار می‌گیرند. درصدها همچنین می‌توانند به‌عنوان اندازه‌گیری واقعی در شمارش (مانند درصد جوانه دهی بذر) عمل کنند. دیگر اندازه‌گیری واقعی که اغلب در علوم چمن ورزشی و چمن صورت می‌گیرد وزن است (مانند وزن برش یا ریشه خشک) (Morris & Shearman, 1998).

۳-۱- فاکتورهای مشخص‌کننده کیفیت چمن ورزشی

این فاکتورها، شامل جهندگی بازگشت توپ[2] ضریب بازگشت‌پذیری[3] غلتیدن توپ[4] چرخش و اصطکاک، اصطکاک و کشش، و سفتی می‌شود (Morris & Shearman, 1998). در این پژوهش به روش جهندگی بازگشت توپ و تعیین ضریب بازگشت‌پذیری چمن پرداخته‌شده است.

۱-۳-۱ جهندگی بازگشت توپ

جهندگی بازگشت توپ به نسبت ارتفاع بازگشت به ارتفاع رها کردن گفته می‌شود و در این آزمون رها کردن عمودی، هیچ چرخش یا رفتار زاویه‌ای برای توپ اتفاق نمی‌افتد. ارتفاع رها کردن بسیار متغیر بوده و ارتفاع بازگشت را می‌توان با چشم یا فیلم ذخیره کرده و حرکت آهسته‌ی آن را برای حالت‌هایی که در آنجا توپ کوچک و ارتفاع بازگشت آن کم است پخش کرد. این آزمون را می‌توان با سفتی سطح مرتبط کرد، به‌عنوان آزمون‌کننده‌ی ضربه‌ی خاک در چکش کِلِگ[5] یا کِلِگ متر[6] استفاده شود، و برای تعیین همبستگی سفتی سطح و جهندگی بازگشت توپ مورداستفاده قرار گیرد. صرف‌نظر از موارد ذکرشده، جهندگی بازگشت توپ با رابطه ی (۱) اندازه‌گیری می‌شود (Morris & Shearman, 1998):

$$\text{جهندگی بازگشت توپ} = \frac{\text{ارتفاع بازگشت}}{\text{ارتفاع رهاسازی}} \qquad (۱)$$

همان‌طور که هولمز و بل[7] (1985) یافتند، استانداردسازی توپ یک عامل تأثیرگذار در ثبات اندازه‌گیری‌های زیر می‌شود (Baker 1989): در فشار بین ۶۰ تا ۱۱۰ kPa که مورد قبول فیفا است، جهندگی بازگشت توپ بر روی بتن ۵/۱ % افزایش می‌یابد. بیشترین تغییر در جهندگی بازگشت توپ برای توپ‌های مورد تائید فیفا در فشار دادشده ۱۴% بوده است (Baker and Canaway, 1993). با نبود استانداردسازی توپ، مقدارهای جهندگی بازگشت توپ مورد قبول برای ورزش‌های مختلف توسط دوری و دوری[8] (1983) و شورای ورزش‌ها[9] (1984a, 1984b) ارائه شده است. مقدارها برای تنیس در بازه‌ای بین ۲۵ تا ۳۶% قرار دارد (Dury and Dury, 1983). مقادیر جهندگی بازگشت توپ فوتبال با توجه به هردو منبع تقریباً در محدوده‌ای بین ۲۰ تا ۴۰% قرار می‌گیرد. برای زمین هاکی، بازه‌ی ۲۰ الی ۴۰% با توجه به شورای ورزش‌ها (1983a) بوده درصورتی‌که با مقداری بین ۸ تا ۱۲% گزارش شده توسط دوری و دوری (1983) متفاوت هستند. یک اختلاف برای کریکت ذکر شده است: ۲۰ تا ۳۴% با توسط به شورای ورزش‌ها (1984b) و ۱۲ تا ۱۹% با توجه به دوری و دوری (1983). جهندگی بازگشت توپ نیز تحت تأثیر روش‌های ساخت زمین ورزشی است. مَگنی و همکاران[10] (2004) یافتند که مقدارهای بازگشت بالاتر مرتبط به نوع خاک بومی زمین‌ها است (۷۶%)، درحالی‌که مقدارهای بازگشت کمتر به زمین‌های شنی تعلق دارند (۶۸%). همچنین در همان مطالعه، به تعامل زیاد بین ساخت زمین‌ها در یک پروفیل شنی و انتخاب

---

[1] Landschoot and Mancino
[2] Ball Rebound Resilience
[3] Coefficient of Restitution
[4] Ball Roll
[5] Clegg Hammer
[6] Clegg Meter
[7] Holmes and Bell
[8] Dury and Dury
[9] Sports Council
[10] Magni et al.

چمن وجود دارد به‌طوری‌که فسکویه بلند[1] در یک زمین شنی دارای ٦٧% بازگشت بوده است. برای پرینیال رایگراس[2] مقدارها بزرگ‌تر بوده و همچنین تحت تأثیر ویژگی‌های فیزیکی ماسه قرارگرفته است: ٧٥% بازگشت روی شن بدون خلل و فرج و ٨٣% بر روی شن متخلخل. ارتباط میان فشار توپ (تورم) و جهندگی بازگشت توپ توسط هولمز و پل (١٩٨٥) برای ١٧ نوع توپ فوتبال مختلف اندازه‌گیری شده است که کاهش نسبی در بازگشت توپ با کاهش در تورم توپ مشخص‌شده است. مقدارهای بازگشت توپ بین ٥٤ تا ٦٩% در فشار تورمی ١١٠ kPa درجه‌بندی شده به‌طوری‌که در ٦٠ kPa مقدارهای بازگشت بین ٤٩ تا ٦٤% بوده‌اند. قوانین تورم توپ فوتبال توسط فیفا پس از جام جهانی ١٩٨٢ اسپانیا تغییر کردند؛ پیش از آن بیشترین تورم تنها ٧٠ kPa بوده است (Aldahir & McElroy, 2014; Magni, Volterrani, & Miele, 2003).

٢-٣-١ ضریب بازگشت‌پذیری

ضریب بازگشت‌پذیری به نسبت تفاضل میان سرعت‌های برخورد اشیا پیش و پس از بخورد گفته می‌شود. این ضریب تفاوتی با جهندگی بازگشت توپ نداشته بلکه تنها روشی دیگر برای توصیف رابطه‌ی میان بازگشت توپ و سفتی سطح است (Zeller, 2008). یک برخورد الاستیک کامل دارای ضریب بازگشت‌پذیری ١ است به این معنا که تمام انرژی جنبشی در سیستم باقی می‌ماند و به سایر انواع انرژی مانند و گرما یا صدا تبدیل نمی‌شود (Chau, Wong, & Wu, 2002). می‌توان این ضریب را با رابطه‌ی زیر محاسبه کرد:

$$c = \frac{v_{2a} - v_{1a}}{v_{1b} - v_{2b}} \qquad (٢)$$

در اینجا c ضریب بازگشت‌پذیری، v_{1b} سرعت خطی جسم ١ پیش از برخورد، v_{2b} سرعت خطی جسم ٢ پیش از برخورد (منفی است اگر در خلاف جهت جسم ١ باشد)، v_{1a} سرعت خطی جسم ١ پس از برخورد و v_{2a} سرعت خطی جسم ٢ پس از برخورد هستند.

با توجه به ارتباط میان انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل، جهندگی بازگشت توپ برابر است با توان دوم ضریب بازگشت‌پذیری (Wadhwa, 2012; Zeller, 2008):

$$\text{جهندگی بازگشت توپ} = \frac{\text{ارتفاع بازگشت}}{\text{ارتفاع رهاسازی}} = c^2 \qquad (٣)$$

در قسمت بعد به دستگاه‌ها و روش‌های استفاده‌شده برای محاسبه‌ی ارتفاع توپ، جهندگی بازگشت توپ و ضریب بازگشت‌پذیری پرداخته‌شده و پس‌ازآن به بررسی نتایج به‌دست‌آمده و نتیجه‌گیری پرداخته می‌شود.

٢- مواد و روش‌ها

در استاندارد فیفا که برای ارزیابی بازگشت‌پذیری چمن ارائه شده است ذکر شده تا توپ فوتبال از ارتفاع ٢ متری بر روی چمن رها شده و ارتفاع بازگشت توپ اندازه‌گیری شود. در چمن معمولی عدد ارتفاع بازگشت بین ٥٠ الی ١٠٠ سانتی‌متر است اما یک چمن ایدئال عددی بین ٥٠ تا ٨٥ سانتی‌متر را باید داشته باشد (FIFA, 2004, 2015). در استاندارد دیگری که توسط فیفا در سال ٢٠٠٦ ارائه شده است بیان شده که توپ باید فشاری به‌اندازه‌ی ٠/٨ بار داشته (FIFA, 2006) و همچنین ذکر شده است که برای کالیبراسیون باید بر روی سطحی بتنی رها شود و در صورتی ارتفاع بازگشت آن باید بین ١/٣٥±٠/٠٣ متر باشد آزمون انجام‌شده صحیح است. درنتیجه این ارزیابی نیازمند دستگاهی است که توپ را از این ارتفاع رها کند و نیاز است تا ارتفاع بازگشت توپ اندازه‌گیری شود. هدف این پژوهش اندازه‌گیری این ارتفاع با استفاده از روش‌های پردازش تصویری است.

به‌منظور اندازه‌گیری ارتفاع بازگشت، از یک دستگاه رهاساز توپ، یک گوشی آیفون ٦ بر روی یک‌پایه‌ی دوربین در ارتفاع ١/٣٠ متری و فاصله‌ی ٩/٣٠ متری از محل برخورد توپ با زمین قرار گرفته استفاده‌شده است. مطابق شکل ٢ دستگاه رهاساز توپ در کنار دیواری که پارچه‌ای مشکی بر روی آن کشیده شده قرارگرفته است. هدف از قرار دادن پارچه‌ی مشکی ایجاد تضاد میان توپ و پس‌زمینه‌ی آن است.

---

[1] Tall Fescue [Lolium arundinaceum (Schreb.) Darbysh.]

[2] Perinnial Ryegrass

[3] Inflation

Figure 2. Ball rebound device

شکل ۲. دستگاه رهاساز توپ

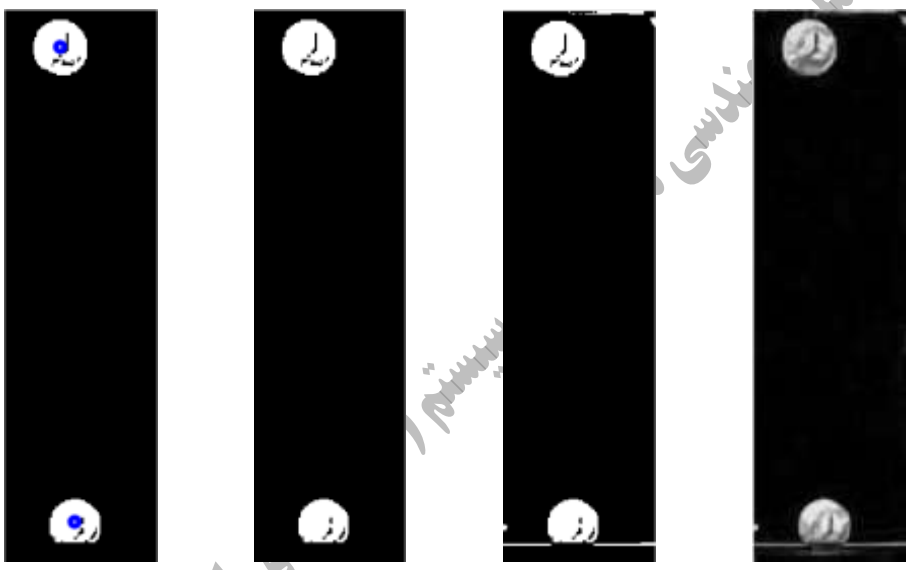
با رها کردن توپ، عملیات آغازشده و گوشی آیفون با سرعت ۲٤۰ fps شروع به فیلمبرداری می‌کند. سپس فیلم تهیه شده به نرم‌افزار MATLAB برده شده و ۳ فریم از تمامی فریم‌ها انتخاب می‌شود. فریم اول هنگامی است که توپ در ارتفاع ۲ متری بوده (شکل ۳-الف)، فریم دوم زمانی است که توپ با زمین برخورد کرده (شکل ۳-ب) و فریم سوم لحظه است که توپ بازگشت کرده و در بالاترین موقعیت خود پس از برخورد قرار دارد (شکل ۳-پ).

(پ) (ب) (الف)

Figure 3. The movie selected frames from ball rebound device, (a) ball at 2m height, (b) ball hit the ground, (c) maximum ball height after the first hit.

شکل ۳. فریم‌های منتخب برای تحلیل فیلم تهیه شده از دستگاه رهاساز توپ. (الف) توپ در ارتفاع ۲ متر، (ب) توپ در لحظه برخورد با زمین، (پ) بیشترین ارتفاع بازگشت توپ پس از برخورد اول

ماتریس قرمز تصویر (ب) از ماتریس قرمز تصویر (الف) به‌منظور آشکارسازی توپ در ارتفاع دو متری کاسته می‌شود. عکس این عمل برای آشکارسازی توپ در لحظه برخورد با زمین نیز انجام‌شده و درنهایت دو تصویر به‌دست‌آمده را می‌توان یکدیگر جمع کرد (شکل ٤-الف). با گذاشتن حد آستانه‌ی ۰/٤، تمام پیکسل‌های کمتر از این مقدار، سیاه شده و پیکسل‌های بزرگ‌تر از آن به رنگ سفید درآمده و تصویر باینری می‌شود (شکل ٤-ب). در مرحله‌ی بعد مناطق سفیدرنگی که تعداد پیکسل‌های آن‌ها از مقدار مشخصی (که برای هر فیلم متفاوت است) کمتر است به رنگ سیاه درآمده و قسمتی که باقی می‌ماند تنها توپ فوتبال است (شکل ٤-پ). سپس برای هرکدام از قسمت‌های سفید موجود در شکل ٤-پ یک برچسب گذاشته می‌شود درنتیجه هرکدام از آن‌ها دارای یک شماره‌ی مشخص هستند. به کمک این برچسب‌ها می‌توان هرکدام از توپ‌ها را به صورت جدا از هم توسط نرم‌افزار در نظر گرفته، مکان درایه‌هایی که مقدار آن‌ها برابر ۱ است را یافت و با به دست آوردن میانگین عمودی و افقی مکان‌های به‌دست‌آمده، می‌توان مرکز دایره سفید رنگ توپ را تعیین کرد. این محل‌ها درشکل ٤-ت با دایره‌هایی مشخص‌شده‌اند. با محاسبه‌ی فاصله‌ی عمودی میان دونقطه‌ی به‌دست‌آمده و دانستن فاصله واقعی آن‌ها (۲ متر) می‌توان ضریبی با نسبت cm/pixel یافت.



(ت) (پ) (ب) (الف)

Figure 4. Computing coefficient of cm/pixel, (a) extracting ball position at maximum and minimum height by reducing red color, (b) binarizing the image by setting threshold, (c) gaining the ROI, (d) computing vertical distance between the balls and coefficient of cm/pixel.

شکل ٤. نحوه‌ی محاسبه‌ی ضریب cm/pixel. (الف) استخراج مکان توپ در بالاترین و پایین‌ترین ارتفاع با کاستن رنگ قرمز، (ب) باینری کردن تصویر با قرار دادن حد آستانه‌ی مناسب، (پ) پالایش تصویر از سایر نقاط سفید اضافه، (ت) به دست آوردن فاصله‌ی عمودی دو توپ از یکدیگر و تعیین ضریب cm/pixel.

در مرحله‌ی بعد، تمام فرایند شرح داده شده در مرحله قبل را برای دو شکل ٤-الف اجرا کرده و درنهایت ارتفاع بازگشت توپ به دست می‌آید. این عملیات در ٤ تکرار انجام‌شده است.

حال پس از بررسی نحوه‌ی داده‌برداری به بررسی نتایج به‌دست‌آمده و بحث بر روی آن‌ها پرداخته می‌شود.

۳- نتایج و بحث

پس از تحلیل‌های صورت گرفته، ضریب cm/pixel به‌طور میانگین برابر با ۰/٦۹٤ به دست آمد. همچنین مقدارهای ارتفاعی محاسبه‌شده برابر ۱۳٤ سانتی‌متر بوده که می‌توان آن را در جدول ۱ مشاهده کرد. بر اساس این جدول، جهندگی بازگشت توپ برابر ٦۷ درصد و ضریب بازگشت‌پذیری برای داده‌برداری صورت گرفته برابر ۰/۸۱۹ به دست آمد.

جدول ۱. داده‌های به‌دست‌آمده از داده‌برداری
Table 1. The computed data from data acquisition

آزمون	ضریب cm/pixel	ارتفاع (سانتی‌متر)	جهندگی بازگشت توپ (٪)	ضریب بازگشت‌پذیری
۱	۰/۶۸۷	۱۳۴	۶۷	۰/۸۱۹
۲	۰/۷۰۲	۱۳۴	۶۷	۰/۸۱۹
۳	۰/۷۰۶	۱۳۴	۶۷	۰/۸۱۹
۴	۰/۶۸۰	۱۳۴	۶۷	۰/۸۱۹
میانگین	۰/۶۹۴	۱۳۴	۶۷	۰/۸۱۹

بر اساس استاندارد فیفا (۲۰۱۵) درصورتی‌که عدد ارتفاع بر روی سطح بتن در بازه‌ی ۰/۰۳±۱/۳۵ متر قرار گیرد عدد به‌دست‌آمده صحیح است که بر این اساس ارتفاع به‌دست‌آمده از این آزمون صحیح است. همچنین مطابق با مقالات ذکر شده در قسمت مقدمه، جهندگی بازگشت توپ فوتبال بر روی سطح چمن در بازه‌ای بین ۲۰ الی ٤٠ درصد باید باشد که عدد به‌دست‌آمده بر روی بتن عددی منطقی به نظر می‌رسد.

۴- نتیجه‌گیری

چمن‌های ورزشی به دلیل حوادثی که در حین بازی رخ می‌دهد ازجمله تکل زدن‌ها، افتادن‌ها، ضربه‌ها و نیز فراهم کردن جای پایی پایدار برای ورزشکار و ایجاد خنکی در سطح در هوای گرم، باید ایمنی لازم را داشته و از تراکم، یکنواختی، نرمی و طبیعت قوی برخوردار بوده و تا بتواند بر تنش‌های واردشده به آن غلبه کرده تا چمن قابلیت بازی مناسب را ارائه کند. علاوه بر این عوامل، خارجی مانند محیطزیست نیز در کیفیت چمن دخیل بوده و باعث ایجاد سایش و تخریب چمن می‌شوند. به همین منظور، چمن‌ها نیازمند ارزیابی بوده تا از کیفیت لازم برخوردار باشد. ازجمله روش‌های ارزیابی‌ای که برای کیفیت‌سنجی چمن ورزشی اجرا می‌شود اندازه‌گیری جهندگی بازگشت توپ، تعیین ضریب بازگشت‌پذیری، غلتاندن توپ، چرخش و اصطکاک، اصطکاک و کشش و سفتی هستند. روشی که این پژوهش به دنبال آن است اندازه‌گیری جهندگی بازگشت توپ و ضریب بازگشت‌پذیری است. به همین دلیل نیازمند است تا بر اساس استانداردهای فیفا توپ فوتبالی از ارتفاع ۲ متری بر روی چمن رها شده و ارتفاع بازگشت آن اندازه‌گیری شود. به‌منظور ارزیابی دقت اعداد به‌دست‌آمده، این آزمون باید بر روی سطح بتنی اجرا شود. درنتیجه ارتفاع بازگشت توپ توسط روش‌های پردازش تصویری استخراج‌شده و ارتفاع بازگشت به‌دست‌آمده با استاندارد تطبیق داده شود. ارتفاعی که برای توپ و دستگاه رهاساز توپ به‌دست‌آمده است ۱۳٤ سانتی‌متر بوده که در بازه‌ی در نظر گرفته توسط فیفا قرار داشته است.

۵- مراجع

Aldahir, P., & McElroy, J. (2014). A Review of Sports Turf Research Techniques Related to Playability and Safety Standards. *Agronomy Journal, 106*(4), 1297-1308 .

ASTM. (2011). ASTM F2396-11: Standard Guide for Construction of High Performance Sand-Based Rootzones for Athletic Fields. In. West Conshohocken, PA.

Chau, K., Wong, R., & Wu, J. (2002). Coefficient of restitution and rotational motions of rockfall impacts. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 39*(1), 69-77 .

FIFA. (2004). *FIFA Quality Concept for Football Turf*: FIFA.

FIFA. (2006). IMS International Matchball Standard. In. Zurich, Switzerland: FIFA.

FIFA. (2015). *FIFA Quality Programme for Football Turf - Handbook of Test Methods* (October 2015 ed.): FIFA.

Magni, S., Volterrani, M., & Miele, S. (2003). *Soccer pitches performances as affected by construction method, sand type and turfgrass mixture.* Paper presented at the I International Conference on Turfgrass Management and Science for Sports Fields 661.

Morris, K. N., & Shearman, R. C. (1998). NTEP Turfgrass Evaluation Guidelines. 1–5 .

Turgeon, A. J. (2011). *Turfgrass Managment* (9 ed.). Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.

Wadhwa, A. (2012). Measuring the rebound resilience of a bouncing ball. *Physics Education, 47*(5), 6. 20

Zeller, L. C. (2008). *Development of Automated Turf Testing Equipment for Playing Surfaces.* (M.S. thesis), The University of Southern Queensland, Brisbane, Australia .

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران