جنگل و فرآورده‌های چوب، مجلهٔ منابع طبیعی ایران
دورهٔ ۷۴، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۴۰۰
ص ۱۹۷-۲۰۷ (پژوهشی)

دانشکده منابع طبیعی
دانشگاه تهران

DOI: 10.22059/jfwp.2021.309725.1132

بررسی کارایی فناوری قابلیت واقعیت افزوده گوشی‌های هوشمند، برای برآورد ارتفاع درختان (مطالعهٔ موردی: سوزنی‌برگان فضای سبز دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان)

الهام کریم‌زاده جعفری[۱]، جواد سوسنی[۲*]

۱. دانشجوی دکتری، جنگلداری، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
۲. دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۳۰

چکیده

دستیابی به مدیریت پایدار جنگل‌ها در سطوح مختلف، در گرو اندازه‌گیری اطلاعات پایه‌ای و درک و به‌کارگیری صحیح این داده‌هاست. ارتفاع درخت از مهم‌ترین مؤلفه‌های قابل اندازه‌گیری جنگل است که بدنهٔ بسیاری از کارهای پژوهشی جنگلداری را تشکیل می‌دهد. از این‌رو تلاش‌های زیادی برای اندازه‌گیری سریع‌تر و دقیق‌تر آن انجام می‌گیرد. امروزه در گوشی‌های هوشمند فناوری‌های متنوعی برای اندازه‌گیری ارتفاع درختان موجود است. در این پژوهش سعی شد با بررسی دقیق ارتفاع تعدادی از درختان، کارایی فناوری اندازه‌گیری ارتفاع مبتنی بر واقعیت افزودهٔ گوشی‌های هوشمند بررسی شود. بدین منظور ۷۵ اصله از درختان سوزنی‌برگ موجود در محوطهٔ دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان به‌صورت تصادفی انتخاب و ارتفاع آنها با ابزار رایج متر لیزری (ابزار مبنا) و فناوری واقعیت افزودهٔ موجود در دو گوشی هوشمند آیفون ۸ و سامسونگ اس ۸ اندازه‌گیری شد. مقایسهٔ جفتی داده‌ها با استفاده از آزمون تی جفتی انجام گرفت و همبستگی داده‌ها، جذر میانگین مربعات خطا و جذر میانگین مربعات خطای نسبی اندازه‌گیری شد. بیشترین همبستگی و کمترین مقدار RMSE و rRMSE برای گوشی آیفون ۸ به‌ترتیب ۰/۹۸۹، ۰/۲۸۵ متر و ۴/۹۷ درصد در شرایط استفاده از نرم‌افزارهای کاربردی مختص به اندازه‌گیری ارتفاع حاصل شد. با نرم‌افزارهای کاربردی عمومی و رایج مبتنی بر این فناوری، مقدار RMSE و rRMSE به‌ترتیب برای آیفون ۰/۳۵۴ متر و ۸/۵۶ درصد و برای گلکسی سامسونگ ۰/۳۷۷ متر و ۱۴/۵ درصد برآورد شد. به نظر می‌رسد که فناوری‌های تعبیه‌شده در گوشی‌های هوشمند جدید، توانایی لازم را دارند تا به‌جای ابزارهای سنتی و متداول اندازه‌گیری ارتفاع درختان به‌کار روند.

واژه‌های کلیدی: آیفون ۸، ارتفاع درخت، سامسونگ اس۸، گوشی‌های هوشمند، واقعیت افزوده.

مقدمه

اندازه‌گیری و برآورد مشخصه‌های ساختاری جنگل‌ها با دقتی مناسب می‌تواند به تصمیم‌گیری‌های مربوط به حفاظت از جنگل‌ها و مدیریت پایدار آنها در مقیاس محلی و جهانی کمک شایانی توجهی کند [۱، ۲]. گردآوری اطلاعات از طریق عملیات صحرایی، اندازه‌گیری‌های مستقیم و روش‌های سنتی، افزون‌بر صرف هزینه، زمان و انرژی زیاد، مستلزم دقت، تجربه، دانش کارشناسی و به‌کارگیری ابزار دقیق و به‌روزشده است. عرصه‌های کوهستانی و مناطق خارج از دسترس نیز از جمله محدودیت‌هایی بودند که سبب شد در سال‌های اخیر ضرورت به‌کارگیری روش‌های بهینه‌تر مطرح شود. ثبت داده‌های سنجش از دور[1] و توسعهٔ پردازش‌ها، گشایش‌های فراوانی را در امر استفاده از سنجش از دور فراهم کرده است [۳]، اما در بعضی موارد این روش‌ها پاسخگوی نیاز اطلاعاتی نیستند و کارشناسان جنگل برای مدیریت مناسب این منابع، باید به

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۹۱۶۳۶۷۸۴۶۸
Email: Soosani.j@lu.ac.ir

1. Remote Sensing

عرصهٔ جنگل وارد شوند و اطلاعات را به‌طور مستقیم از محیط جنگل برداشت کنند. برداشت داده از جنگل نیز به‌دلیل شرایط طبیعی حاکم بر جنگل، نیازمند صرف زمان و در نتیجه هزینهٔ زیاد است [۴]. امروزه دستگاه‌های اندازه‌گیری سنتی و ارزان، مانند کالیپر، نوارهای اندازه‌گیری و ارتفاع‌سنج‌ها، هنوز هم به‌طور عمده برای اندازه‌گیری درختان در قطعات نمونه استفاده می‌شوند [۵–۷]. در اندازه‌گیری ارتفاع درختان سرپا، هنوز متداول‌ترین روش، استفاده از شیب‌سنج‌هایی[1] است که براساس روابط مثلثاتی کار می‌کنند [۸]. همچنین استفاده از ابزارهای جدیدتر مبتنی بر لیزر مانند vertex و Range finder برای اندازه‌گیری ارتفاع درخت به‌صورت مستقیم و بدون نیاز به اندازه‌گیری فاصله رایج شده است [۹–۱۱].

در سال‌های اخیر، فناوری‌های جدید با دقت و صحت زیادی در زمینهٔ جنگلداری معرفی شده‌اند [۱۲، ۱۳]. از جمله این موارد گوشی‌های هوشمندی هستند که به دوربین‌ها و حس‌گرهای گوناگون مجهزند و با امکان نصب برنامه‌های پیشرفتهٔ پردازشی و گرافیکی، بسیاری از برنامه‌های کاربردی، شامل اندازه‌گیری‌ها و محاسبات را امکان‌پذیر کرده‌اند. امروزه برنامه‌هایی مبتنی بر اطلاعات دوربین گوشی‌های هوشمند برای اندازه‌گیری یک قطعه نمونه یا تودهٔ جنگلی وجود دارد [۷]؛ مانند نرم‌افزارهای کاربردی که به‌طور انحصاری برای تعیین ارتفاع برای درختان طراحی شده‌اند. استفاده از این ابزارها، جدا از مزیت‌های کاربردی آسان، چندمنظوره بودن و رواج در بین عموم مردم، نیاز به حمل‌ونقل و تهیهٔ ابزارهای اندازه‌گیری متنوع، گران‌قیمت و گاه دست‌وپاگیر را تا حد زیادی مرتفع کرده است [۱۴].

ارتفاع درخت، یکی از متغیرهای مهم در آماربرداری جنگل و ارزیابی مقادیر کمّی زیست‌توده، موجودی کربن، رویش و توان تولید رویشگاه‌های جنگلی است. دقت اندازه‌گیری ارتفاع درخت با تلفن‌های هوشمند تاکنون به‌طور گسترده تجزیه‌وتحلیل نشده است [۱۴]. برخی پژوهش‌ها به بررسی این قابلیت پرداخته‌اند [۷، ۱۷–۱۳].

به‌تازگی مجموعه‌ای از نرم‌افزارهای کاربردی مرتبط با گوشی‌های هوشمند نیز به بازار عرضه شده‌اند که توانایی بیشتری در اندازه‌گیری ارتفاع درختان دارند. این اندازه‌گیری‌ها برمبنای اطلاعاتی هستند که شتاب‌سنج‌های سه‌بعدی موجود در سخت‌افزار این گوشی‌ها با توجه به شیب دستگاه و میزان جابه‌جایی سه محور متعامد متقاطع با مرکز دستگاه (محورهای x و y و z) فراهم می‌آورند.

چند گروه عمده از نرم‌افزارهای کاربردی موجودند که از گوشی‌های هوشمند برای ارتفاع‌سنجی استفاده می‌کنند. گروهی از آنها با استفاده از تصویری که توسط لنز دوربین روی صفحهٔ نمایش ایجاد می‌شود امکان اندازه‌گیری ارتفاع را فراهم می‌کنند. این نرم‌افزارهای کاربردی ارتفاع را با استفاده از فرمول تانژانت و براساس ثبات نقطهٔ اندازه‌گیری (محور xها) و چرخش محور yها محاسبه می‌کنند. گروهی دیگر از آنها ارتفاع درخت را با استفاده از خطوط روی نمایشگرهای گوشی‌های هوشمند و چرخش‌های اطراف محور z اندازه‌گیری می‌کنند [۱۶]. فناوری واقعیت افزوده یا AR (Augmented reality) از جدیدترین فناوری‌های قابل استفاده با انعطاف‌پذیری و دقت زیاد در گوشی‌های هوشمند موجود در بازار است. نرم‌افزارهای کاربردی محتوی واقعیت افزوده، از گوشی هوشمند برای ترکیب محتوای دیجیتال با دنیای واقعی استفاده می‌کنند. تمرکز اصلی هسته‌های پردازشگر مبتنی بر واقعیت افزوده (ARCore) بر تشخیص الگوی کلی سطح موجود در محل قرار گرفتن شیء و ردیابی حرکات از طریق دوربین و هستهٔ پردازشگر تخصصی موجود در گوشی است [۱۸]. این کیت توسعهٔ نرم‌افزار، امکان تشخیص جهت و جایگاه گوشی را هنگام حرکت فراهم می‌کند. ARCore همچنین می‌تواند سطوح افقی و جایگاه دقیق اشیا (همانند درخت) روی آن را با همان ویژگی مشابهی که در زمین قرار دارند شبیه‌سازی و شناسایی کند [۱۹]. ثبت موقعیت مکانی و امکان ردیابی مجدد محل اشیا، از دیگر ویژگی‌های فناوری AR روی گوشی‌های هوشمند است [۱۶].

1. Clinometers

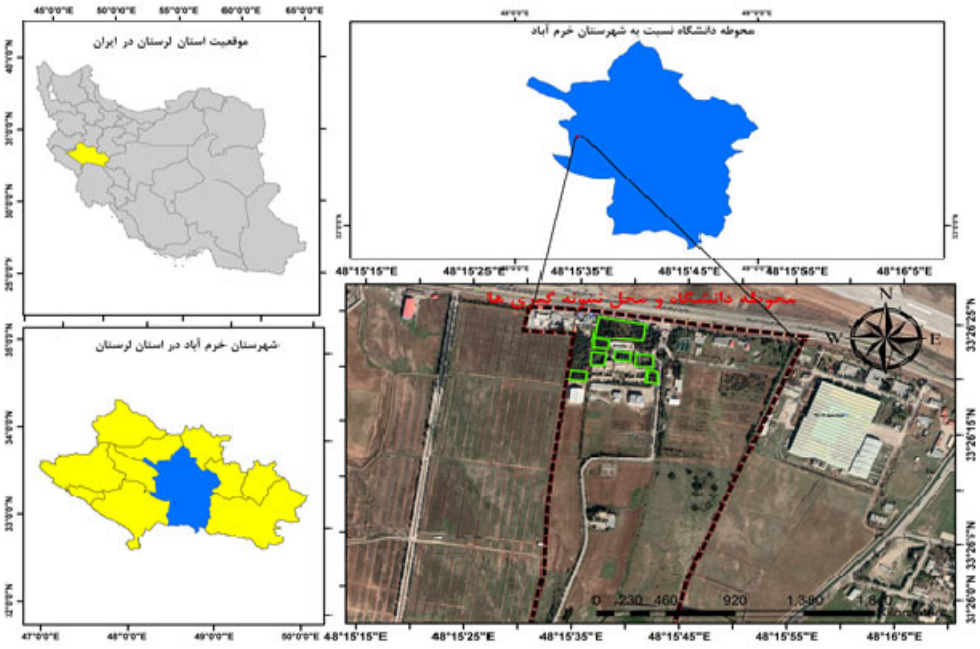
رواج گسترده و پیشرفت سریع این فناوری در گوشی‌های هوشمند جدید، در دسترس بودن، کالیبراسیون ساده، کاربری آسان و امکان استفادهٔ چندمنظوره از این گوشی‌ها، جایگزین کردن این فناوری را با ابزارهای سنتی رایج، توجیه‌پذیر می‌سازد. این پژوهش برای بررسی کارایی و دقت اندازه‌گیری ارتفاع با استفاده از این فناوری، در دو نوع از گوشی‌های هوشمند دارای این فناوری، مبتنی بر دو سیستم عامل متفاوت، در تودهٔ دست‌کاشت سوزنی‌برگ موجود در محوطهٔ دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ پژوهش

اندازه‌گیری‌های میدانی با انتخاب تصادفی تعدادی از درختان سوزنی‌برگ موجود در باغ سوزنی‌برگان دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان انجام گرفت (شکل ۱). این مجموعهٔ آموزشی در ۱۳ کیلومتری جنوب غربی شهرستان خرم‌آباد و در موقعیت جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۸ دقیقهٔ عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۲۲ دقیقهٔ طول شرقی واقع شده است. این باغ در زمینی مسطح و با شرایط خاکی و زمین‌شناسی یکسان، بدون شیب و جهت واقع شده و دارای سنگ مادر آهکی، نیمه‌عمیق با مقداری سنگریزه و بافت لومی رسی است. میانگین ارتفاع منطقه ۱۱۴۸ متر از سطح دریاست و براساس داده‌های نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی سینوپتیک، منطقهٔ تحقیق دارای اقلیم نیمه‌خشک است.

تیپ غالب سوزنی‌برگان دست‌کاشت موجود در این منطقه را گونهٔ کاج بروسیا[1] به‌همراه تعداد کمی از پایه‌های سرو نقره‌ای[2] و زربین[3] تشکیل می‌دهد. انتخاب درختان سوزنی‌برگ، برای اجتناب از خطای رایج تعیین محل دقیق نوک تاج (که در اندازه‌گیری ارتفاع درختان پهن‌برگ رایج است) صورت گرفت.



شکل ۱. موقعیت قرارگیری نمونه‌ها در منطقهٔ تحقیق، شهرستان، استان و کشور

1. Pinus bruita
2. Cupressus arizonica
3. Cupressus sempervirens

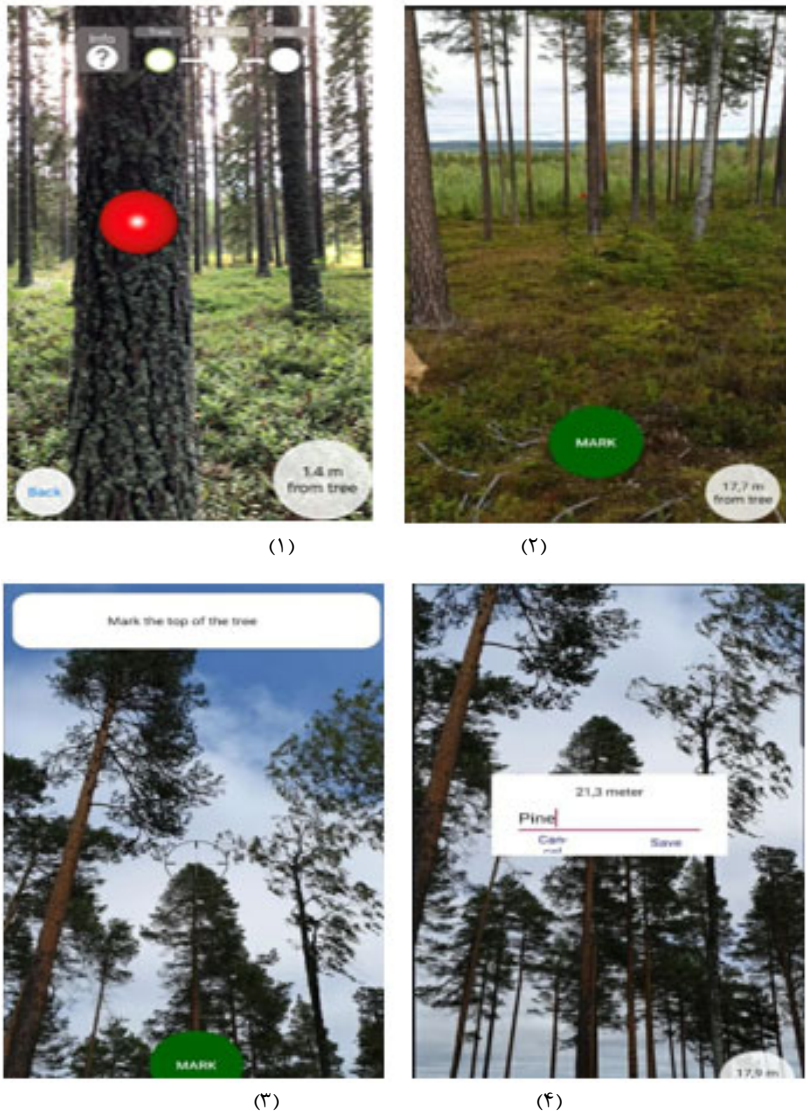
شیوهٔ اجرای پژوهش

برای اجرای این پژوهش، ابتدا درختان دارای شرایط مناسب برای اندازه‌گیری ارتفاع مشخص شدند (عمود، نوک تاج مشخص و وجود میدان عمل مناسب برای استقرار ابزار در محدودهٔ تقریبی ارتفاع). سپس با استفاده از فرمول کوکران، حجم نمونه مشخص شد و ۷۵ درخت به‌صورت تصادفی (بدون جایگزینی) علامت‌گذاری شد (جدول ۱). اندازه‌گیری ارتفاع ابتدا با ابزار لیزری دقیق (Trupulse 360) انجام گرفت. این دستگاه ابزاری سبک‌وزن، لیزری و انعطاف‌پذیر است که در علوم مختلف کاربرد دارد و استفاده از آن برای اندازه‌گیری فاصله، آزیموت، شیب و ارتفاع دقیق درختان نیز رایج است [۴]. این ابزار فاصلهٔ افقی دقیق با جسم را برای تعیین اندازهٔ زاویهٔ میل و آزیموت می‌سنجد و می‌تواند فاصلهٔ خط مستقیم بین دو نقطه را محاسبه کند [۲۰]. قدرت تفکیک[1] این دستگاه برای خطی به طول ۱۰ سانتی‌متر به‌طرز مشخصی با دقت ۰±/۲۵ شیب، ۱± درجهٔ آزیموت مشخص شده است [۱۹].

جدول ۱. ارتفاع گونه‌های اندازه‌گیری‌شده (واحد اندازه‌گیری ارتفاع برحسب متر است، کاج.ب؛ منظور کاج بروسیا و سرو.ن؛ منظور سرو نقره‌ای است)

شمارهٔ درخت	گونه	trupulse 360 (m)	آیفون ۸– Arboreal (m)	آیفون ۸– ARuler (m)	گلکسی s ۸ سامسونگ ARuler (m)	شمارهٔ درخت	گونه	trupulse 360(m)	آیفون ۸– Arboreal (m)	آیفون ۸– ARuler (m)	گلکسی s8 سامسونگ ARuler (m)
۱	کاج.ب	۹/۵	۹/۴	۹/۳	۹/۳	۳۹	کاج.ب	۷/۸	۷/۸	۷/۸	۷/۷۵
۲	کاج.ب	۹/۵	۷/۵	۷/۴	۷/۴	۴۰	زربین	۸/۵	۸/۵	۸/۵	۸/۶۵
۳	کاج.ب	۹/۶	۱۰/۳	۱۰/۳	۱۰/۳۵	۴۱	زربین	۸/۳	۸/۲	۸/۳	۸/۲۵
۴	کاج.ب	۱۰/۱	۱۰	۱۰	۱۰	۴۲	سرو.ن	۱۰/۲	۱۰/۲	۱۰/۲	۱۰/۲
۵	کاج.ب	۱۰/۲	۱۰	۱۰	۱۰	۴۳	سرو.ن	۱۰/۳	۱۰/۲	۱۰/۲۵	۱۰/۲
۶	سرو.ن	۱۰/۴	۱۰/۵	۱۰/۵۵	۱۰/۴	۴۴	کاج.ب	۱۰/۳	۱۰/۳	۱۰/۳	۱۰/۲
۷	سرو.ن	۸/۵	۸/۷	۹	۹	۴۵	کاج.ب	۱۱/۵	۱۱/۵	۱۱/۴۵	۱۱/۴
۸	کاج.ب	۱۱/۳	۱۱	۱۰/۸	۱۱/۱	۴۶	کاج.ب	۱۲	۱۲	۱۱/۹۵	۱۱/۹
۹	کاج.ب	۹/۵	۱۰	۱۱/۱	۱۱/۱	۴۷	سرو.ن	۱۰/۲	۱۰/۱	۱۰/۲	۱۰
۱۰	کاج.ب	۹/۱	۸/۷	۸/۸	۸/۶۵	۴۸	زربین	۱۰/۱	۹/۸	۹/۸	۹/۷
۱۱	سرو.ن	۱۰/۸	۱۰/۶	۱۰/۸	۱۰/۸	۴۹	زربین	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰/۲
۱۲	سرو.ن	۱۳	۱۲/۹	۱۳	۱۲/۹	۵۰	کاج.ب	۷/۸	۷/۸	۷/۸	۷/۷
۱۳	سرو.ن	۱۰/۷	۱۰/۵	۱۰/۳۵	۱۰/۳۵	۵۱	کاج.ب	۷/۴	۷/۵	۷/۴	۷/۳۵
۱۴	کاج.ب	۹/۹	۹/۸	۹/۵۵	۹/۵	۵۲	سرو.ن	۱۲/۸	۱۲/۵	۱۲/۵۵	۱۲/۶۵
۱۵	کاج.ب	۱۱/۸	۱۱/۷	۱۱/۶	۱۱/۶۵	۵۳	سرو.ن	۹/۵	۹/۴	۹/۳	۹/۳
۱۶	کاج.ب	۱۲/۸	۱۲/۵	۱۲/۵۵	۱۲/۶۵	۵۴	سرو.ن	۱۰/۴	۱۰/۵	۱۰/۵۵	۱۰/۴
۱۷	کاج.ب	۱۳/۲	۱۳	۱۳	۱۳	۵۵	کاج.ب	۷/۴	۷/۵	۷/۴۵	۷/۷۵
۱۸	کاج.ب	۷/۶	۷/۷	۷/۶	۷/۷۵	۵۶	کاج.ب	۸/۵	۸/۷	۹	۹
۱۹	کاج.ب	۸/۶	۸/۶	۸/۶	۸/۵۵	۵۷	زربین	۶/۳	۶/۲	۶/۳	۶/۲
۲۰	کاج.ب	۷/۸	۷/۹	۷/۷۵	۷/۸	۵۸	زربین	۱۰/۷	۱۰/۵	۱۰/۳۵	۱۰/۳۵
۲۱	سرو.ن	۷/۳	۷/۵	۷/۴۵	۷/۷۵	۵۹	زربین	۸/۶	۸/۶	۸/۶	۸/۵۵
۲۲	سرو.ن	۷/۵	۷/۵	۷/۴۵	۷/۸۵	۶۰	کاج.ب	۱۰/۱	۱۰	۱۰	۱۰
۲۳	زربین	۶/۷	۶/۸	۶/۷۵	۶/۷۵	۶۱	کاج.ب	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰/۲
۲۴	سرو.ن	۸/۶	۸/۵	۸/۵	۸/۴	۶۲	سرو.ن	۱۰/۴	۱۰/۵	۱۰/۵۵	۱۰/۴
۲۵	سرو.ن	۸/۲	۸/۳	۸/۲۵	۸/۲۵	۶۳	کاج.ب	۷	۷	۷	۷/۴۵
۲۶	سرو.ن	۷/۶	۷/۵	۷/۵	۷/۴	۶۴	کاج.ب	۱۱/۸	۱۱/۷	۱۱/۶	۱۱/۶۵
۲۷	سرو.ن	۷	۷	۷	۷/۴۵	۶۵	کاج.ب	۹/۲	۹	۹/۲	۹/۱
۲۸	سرو.ن	۶/۲	۶/۲	۶/۲۵	۶/۲	۶۶	کاج.ب	۶/۲	۶/۲	۶/۲۵	۶/۲
۲۹	سرو.ن	۶/۷	۶/۷	۶/۷	۶/۶۵	۶۷	کاج.ب	۶/۷	۶/۷	۶/۷	۶/۶۵
۳۰	سرو.ن	۷/۲	۷./۲	۷/۲۵	۷/۳۵	۶۸	کاج.ب	۸/۶	۸/۵	۸/۵	۸/۴
۳۱	کاج.ب	۹/۲	۹	۹/۲	۹/۱	۶۹	زربین	۱۳/۲	۱۳	۱۳	۱۳
۳۲	کاج.ب	۷/۲	۷/۲	۷/۲	۷/۲۵	۷۰	زربین	۱۰/۷	۱۰/۷	۱۰/۸	۱۰/۹
۳۳	کاج.ب	۶/۳	۶/۲	۶/۳	۶/۲	۷۱	سرو.ن	۸/۳	۸/۲	۸/۳	۸/۲۵
۳۴	کاج.ب	۹/۳	۹/۴	۹/۳	۹/۳	۷۲	کاج.ب	۷/۶	۷/۵	۷/۵	۷/۴
۳۵	کاج.ب	۹/۴	۹/۴	۹/۳۵	۹/۶	۷۳	سرو.ن	۷/۸	۷/۹	۷/۷۵	۷/۸
۳۶	کاج.ب	۶/۵	۶/۲	۶/۳	۶/۲۵	۷۴	زربین	۱۲	۱۲	۱۱/۹۵	۱۱/۹
۳۷	کاج.ب	۸/۷	۸/۷	۸/۵۵	۸/۵	۷۵	کاج.ب	۶/۳	۶/۲	۶/۳	۶/۲
۳۸	کاج.ب	۱۰/۷	۱۰/۷	۱۰/۸	۱۰/۹						

1. Resolution



(۱) (۲)

(۳) (۴)

شکل ۲. مراحل اندازه‌گیری ارتفاع درختان توسط نرم‌افزار کاربردی (Arboreal)

اندازه‌گیری ارتفاع مبتنی بر فناوری ARCore، با استفاده از دو نوع نرم‌افزار کاربردی، روی گوشی‌های هوشمند آیفون ۸ با سیستم عامل ios[1] و گلکسی سامسونگ اس ۸ با سیستم عامل اندروید انجام گرفت (جدول ۱). نوع اول با نام Arboreal، مختص کاربران سیستم عامل ios شرکت اپل است و به‌صورت تخصصی برای اندازه‌گیری ارتفاع درختان، اعم از سوزنی‌برگ و پهن‌برگ طراحی شده است.

نوع دوم ARuler است که به‌طور عمومی برای اندازه‌گیری ارتفاع اجسام طراحی شده و روی هر دو سیستم عامل ios و اندروید (سیستم عامل موبایل شرکت گوگل) نصب می‌شود. برای اندازه‌گیری ارتفاع با این ابزارها، ابتدا با حرکت موبایل روی سطح و شیء مورد نظر، سطح مبنای محیط برای نرم‌افزار شناسایی شده و با مشخص کردن نقطهٔ شروع اندازه‌گیری ارتفاع، قابلیت اندازه‌گیری ارتفاع جسم در محیط نرم‌افزار فراهم می‌شود. هستهٔ پردازنده اختصاصی

1. iPhone Operating System

دستگاه به‌همراه هوش مصنوعی تعبیه‌شده در این فناوری، امکان حرکت به‌سمت درخت و استقرار دقیق نقطهٔ شروع اندازه‌گیری ارتفاع، در پای درخت و سپس قرار گرفتن در فاصلهٔ مناسب برای تعیین دقیق محل نوک درخت را ممکن می‌سازد (شکل ۲). برای کاهش اریبی و خطاهای رایج در اندازه‌گیری ارتفاع درختان، اندازه‌گیری‌ها برای هر درخت توسط یک نفر و در فاصله و مکان معین انجام گرفت. داده‌های ارتفاع trupulse 360، دادهٔ مرجع در نظر گرفته شد و نتایج اندازه‌گیری، با نرم‌افزارهای کاربردی مبتنی بر AR مقایسه شد.

برای اندازه‌گیری‌های ارتفاع برای هر درخت، خطاهای مطلق و خطاهای نسبی، جذر میانگین مربعات خطا و نیز جذر میانگین مربعات خطای نسبی به‌صورت مجزا و براساس فرمول‌های زیر محاسبه شد [۳، ۱۴].

$$\text{خطای مطلق} = \quad h_{app} - h_s \qquad (۱)$$

$$\text{خطای نسبی} = \quad = \frac{h_{app} - h_s}{h_s} \times 100\% \qquad (۲)$$

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum\left(h_{app} - h_s\right)^2} \qquad (۳)$$

$$\mathrm{rRMSE}\% = \frac{\mathrm{RMSE}}{Z_{(x_i)}} \times 100 \qquad (۴)$$

h_{app} ارتفاع اندازه‌گیری‌شده با استفاده از نرم‌افزارهای کاربردی مبتنی بر AR و h_s ارتفاع اندازه‌گیری‌شده با استفاده از trupulse 360 است. برای محاسبهٔ خطای میانگین ریشهٔ مربعات از رابطهٔ ۳ استفاده شد که در آن، n تعداد نمونه‌های اندازه‌گیری‌شده است. برای جذر میانگین مربعات خطای نسبی نیز از رابطهٔ ۴ استفاده شد که $z(x_i)$ میانگین مشاهدات است.

نرمالیتهٔ داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف–اسمیرنوف[1] در نرم‌افزار SPSS بررسی شد. آزمون t جفتی[2] نوعی آزمون قدرتمند برای مقایسهٔ متغیرهای کمّی وابسته مربوط به یک جامعه یا نمونه است [۲۱]. این آزمون برای بررسی و مقایسهٔ وجود یا نبود اختلاف معنی‌دار بین اندازه‌گیری‌های حاصل از ابزار مرجع (trupulse 360) و نرم‌افزارهای کاربردی استفاده‌شده به‌کار گرفته شد. صحت‌سنجی داده‌ها با استفاده از آماره‌های همبستگی (R)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و جذر میانگین مربعات خطای نسبی (rRMSE) با استفاده از نرم‌افزار R بررسی شد.

نتایج و بحث

نتایج آزمون کولموگروف– اسمیرنوف حاکی از نرمال بودن داده‌ها (در سطح ۵ درصد) بود. نتایج حاصل از بررسی همبستگی اندازه‌گیری ارتفاع درختان با ابزار trupulse 360 و نرم‌افزارهای کاربردی مبتنی بر ARcoreدر جدول ۲ نشان داده شده است.

بیشترین همبستگی در سطح ۵ درصد از بین جفت متغیرهای اندازه‌گیری‌شده مربوط به متغیرهای آیفون Arboreal و Trupulse360 است. پیداست که هر دو دستگاه در اندازه‌گیری و برآورد ارتفاع درختان نتایجی پذیرفتنی و نزدیک به واقعیت را از خود نشان می‌دهند و اختلاف محسوسی بین دو گوشی مشاهده نمی‌شود.

نتایج آزمون تی جفتی (جدول ۳) نشان می‌دهد که فرض صفر پذیرفته است و تفاوت آماری معنی‌داری در اندازه‌گیری ارتفاع جفت متغیرهای اندازه‌گیری‌شده در سطح خطای ۵ درصد وجود ندارد. بنابراین کارایی و دقت اندازه‌گیری همهٔ ابزارها و نرم‌افزارهای کاربردی به‌کاررفته با توجه به ابزار مرجع (trupulse360) پذیرفته می‌شود.

1. Kolmogorov Smirnov test

2. Paied Sample t test

جدول ۲. نتایج بررسی همبستگی‌ها

		تعداد	همبستگی	p-value.
جفت ۱	(آیفون ۸– Arboreal) و Trupulse 360	۷۵	۰/۹۸۹	p <۰۰۱
جفت ۲	(آیفون ۸–Aruler) و Trupulse 360	۷۵	۰/۹۸۲	p <۰۰۱
جفت ۳	(سامسونگ ۸s– ARuler) وTrupulse 360	۷۵	۰/۹۷۹	p <۰۰۱

جدول ۳. نتایج معنی‌داری همبستگی برای آزمون t زوجی

		اختلاف زوجی						
		میانگین	انحراف معیار	خطای معیار میانگین	اختلاف ۹۵٪ فاصلهٔ اطمینان		t	درجهٔ آزادی	p-value
					حد پایین	حد بالا			
جفت۱	(آیفون ۸– Arboreal) و trupulse 360	۰/۰۵۷۳۳	۰/۲۸۱۰۱	۰/۳۲۴۵	۰/۰۰۷۳۲	۰/۱۲۱۹۹	۱/۷۶۷	۷۴	۰/۰۸۱
جفت۲	(آیفون ۸–ARuler) و trupulse 360	۰/۰۴۱۳۳	۰/۳۵۴۵۴	۰/۴۰۹۴	-۰/۴۰۲۴	۰/۱۲۲۹۱	۱/۰۱۰	۷۴	۰/۳۱۶
جفت ۳	(سامسونگ ۸s– ARuler) و trupulse 360	۰/۰۲۶	۰/۳۷۹۴۰	۰/۴۳۸۱	-۰/۰۶۱۲۹	۰/۱۱۳۲۹	۰/۵۹۳	۷۴	۰/۵۵۵

خطای مطلق و خطای نسبی با اندازه‌گیری دقیق ارتفاع درختان معنادار می‌شود؛ به‌عبارتی برای درختان بلندتر، خطا بیشتر تغییر می‌کند [۱۴]. خطای مطلق از دامنهٔ ۴/۳– تا ۱/۹۵– متر در جفت متغیرهای اندازه‌گیری‌شده برآورد شد، درحالی که دامنهٔ مقادیر خطای نسبی از ۱/۱۰ درصد تا ۱/۷۷ درصد ملاحظه می‌شود.

برای تبیین هرچه بیشتر تفاوت‌ها، صحت‌سنجی نتایج با استفاده از معیارهای RMSE و rRMSE نیز بررسی شد. کمترین میزان RMSE و rRMSE متعلق به گوشی هوشمند آیفون ۸، (۰/۲۸۵متر و ۴/۹۷ درصد) تحت شرایط استفاده از نرم‌افزار کاربردی Arboreal است. پس از آن، مقدار این آماره‌ها به‌ترتیب برای نرم‌افزار کاربردی ARuler نصب‌شده روی دستگاه‌های آیفون ۸، معادل ۰/۳۵۴ متر و ۸/۵۶ درصد و برای گلکسی سامسونگ اس ۸، برابر با ۰/۳۷۷ متر و ۱۴/۵ درصد است (جدول ۴).

جدول ۴. مقایسهٔ خطای نسبی، خطای مطلق، RMSE و rRMSE در زوج متغیرهای اندازه‌گیری‌شده ارتفاع

	خطای مطلق (متر)	٪خطای نسبی	RMSE (متر)	rRMSE %
(آیفون ۸– Arboreal) و trupulse 360	-۴/۳	۱/۱۰	۰/۲۸۵	۴/۹۷
(آیفون ۸–Aruler) و trupulse 360	-۳/۱	۱/۲۴	۰/۳۵۴	۸ /۵۶
(سامسونگ ۸s– ARuler) و trupulse 360	-۱/۹۵	۱/۷۷	۰/۳۷۷	۱۴/۵

دقت به‌دست‌آمده از دستگاه آیفون ناشی از این واقعیت است که این دستگاه از نرم‌افزار و سخت‌افزار روان و اختصاصی استفاده می‌کند که دقت بیشتری را در شتاب‌سنج‌های داخلی این گوشی فراهم می‌کند [۱۴]. آیفون‌ها دارای رابط کاربری عالی هستند که مدیریت، ویرایش، نمایش و محاسبهٔ داده‌های اندازه‌گیری را امکان‌پذیر می‌سازند [۱۵]. ویلاسنت و فرناندز [۱۶] در پژوهشی با استفاده از گوشی سامسونگ گلکسی نوت، مقدار RMSE را ۰/۸۶ متر تخمین زدند، درحالی که در این تحقیق برای گوشی سامسونگ گلکسی اس ۸ این مقدار ۰/۳۷۷ متر برآورد شد (جدول ۴). به نظر می‌رسد که اختلاف ایجادشده به‌دلیل ارتقای زیاد سخت‌افزار، قابلیت‌های فناوری ARCore و انتخاب نرم‌افزارهای کاربردی باشد. البته فاصلهٔ زمانی دو تحقیق و استفاده از فناوری‌های جدیدتر نیز در کاهش خطاها مؤثر بودند. در تحقیق دیگری، شینمی و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از

گوشی‌های هوشمند همراه در جنگل‌های چین برای اندازه‌گیری ارتفاع مقدار RMSE را ۰/۲۶۷ متر برآورد کردند [۱۷] که به نتایج این تحقیق بسیار نزدیک است (جدول ۴).

در فرایند انتخاب نرم‌افزارهای کاربردی، نکتهٔ مهم آن است که برنامه‌ها یا نرم‌افزارهای کاربردی که برای اندازه‌گیری انتخاب می‌شوند باید به‌دقت بررسی شوند، چراکه در برنامه‌های کاربردی رایج در اندازه‌گیری ارتفاع توسط گوشی‌های هوشمند، اساس محاسبات بر استفاده از مفهوم تانژانت، در تعیین ارتفاع درخت است. در این شرایط، حتی اندکی انحراف از حالت عمودی ممکن است به خطای زیادی منجر شود [۱۴]. در فرایند استفاده از فناوری ARCore، برخلاف بسیاری از اندازه‌گیری‌های رایج با استفاده از نسل‌های قبلی گوشی‌های هوشمند، به کالیبراسیون اولیه دستگاه نیاز نیست؛ چراکه با توجه به انعطاف زیاد و برازش فضایی (سه‌بعدی) محیط، می‌توان خطاهای ایجادشده در اثر جابه‌جایی را تا حد زیادی کاهش داد. از طرفی، پارامترهایی همچون زاویهٔ کجی درخت و شیب زمین به‌راحتی در فناوری ARCore تشخیص داده شده و کنترل می‌شود و مسئلهٔ تأمل‌برانگیز در استفاده از این فناوری، توان تشخیص کلی توپوگرافی عرصه است که در افزایش دقت اندازه‌گیری ارتفاع درختان تأثیرگذار است [۱۷]. نکتهٔ شایان ذکر در به‌کارگیری این فرایند در گوشی‌های هوشمند جدید، سرعت بخشیدن به اندازه‌گیری‌ها در جنگلداری نیست، بلکه توان تجزیه‌وتحلیل مکانی قوی و کاهش چشمگیر خطاهای اندازه‌گیری است [۱۶].

کمتر بودن میزان آمارهٔ محاسباتی RMSE در استفاده از این نرم‌افزارهای کاربردی نیز خود گواهی بر این موضوع است. بیاک و سارزینسکی (۲۰۱۵) در تحقیقی [۱۴] با اسمارت فون‌ها در زمینهٔ برآورد اندازه‌گیری‌های جنگل از جمله ارتفاع به این نتیجه رسیدند که اختلاف اندازه‌گیری ارتفاع حاصل سونتو (ابزار مرجع) و نرم‌افزارهای کاربردی مورد استفاده در همهٔ موارد تصادفی نیست و گاهی معنی‌دار است (رد فرض صفر) که این معنی‌داری به طبقهٔ ارتفاعی درختان اندازه‌گیری‌شده بستگی دارد و به نظر می‌رسد برای درختان بلندتر بروز اختلاف معنی‌دار محتمل‌تر باشد. استفاده از این فناوری، علی‌رغم سادگی ظاهر آن، نیازمند آموزش و تمرین کافی است. عملاً با دور شدن دوربین از درخت به‌ویژه در محیط‌های طبیعی، به‌دلیل تغییر شکل چشم‌انداز، دقت در تشخیص خطوط تراز و در نتیجه قابلیت تمرکز ابزار بر درخت مدنظر کاهش می‌یابد که در نهایت ممکن است بر دقت اندازه‌گیری ارتفاع درخت اثرگذار باشد [۱۶].

نتیجه‌گیری

پیشرفت سریع فناوری نسل گوشی‌های هوشمند همراه و فراگیر شدن هرچه بیشتر آنها در سال‌های اخیر، سبب رشد و توسعهٔ برنامه‌ها و نرم‌افزارهای کاربردی در علوم مختلف از جمله جنگلداری شده است. براساس مشاهدات در روند تحقیق، دقت زیاد و قابل قبول نتایج تحقیق، می‌تواند انگیزه‌ای برای آزمودن دیگر پارامترهای جنگل و درخت با استفاده از فناوری‌های گوشی‌های هوشمند در تحقیقات آینده باشد. از طرفی با توجه به شرایط طبیعی و توپوگرافیک جنگل‌های هیرکانی، باید حد توان فناوری‌های حاضر در این عرصه‌ها را سنجید و خطا و دقت اندازه‌گیری را بررسی کرد. به‌دلیل تحقیقات محدود که در این زمینه به‌ویژه تحقیقات مرتبط با اندازه‌گیری ارتفاع درختان توسط فناوری AR، پژوهش در محیط‌های طبیعی و با دامنهٔ متنوع‌تری از گونه‌های درختی توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

بر خود لازم میدانیم از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور جهت حمایت مالی این طرح (به شماره ۹۹۰۳۱۲۶۷) و آقایان محسن یوسفوند مفرد و محمد رضا وحیدی اصل جهت همکاری در برداشت داده های صحرایی، تشکر و قدر دانی نماییم.

References

[1]. Shamsoddini, A. (2016). Pine forest structural parameter retrieval using radar images. Journal of Spatial Planning, 20(1): 53-78.

[2]. Miranzadeh, S., Shamsoddini, A., and Mousivand, A.J. (2019). SPOT-5 Spectral and Textural Data Fusion for Forest Mean Age and Height Estimation. Journal of Geomatics Science and Technology, 9 (1): 119-130.

[3]. Karimzadeh Jafari, E., Naghavi, H., Adeli, K., and Latifi, H. (2017). Investigating the feasibility of Timber volume estimating using Landsat 8 satellite images. In: National Conference on Knowledge and Innovation in Wood and Paper Industry with Environmental Approach. Dec.20. Karaj, Iran, 1-10.

[4]. Sasanifar, S., and Namiraninan, M. (2017). Survey equality of two instrument of measurement set of distance and azimuth (Trupulse360) and sonto Clinometers in measurement of tree height. Journal of the Conservation and Utilization of Natural Resources, 6 (1): 15-26.

[5]. Vastaranta, M.,Melkas, T., Holopainen, M., Kaartinen, H., Hyyppä, J., and Hyyppä, H.(2009). Laser-based field measurements in tree-level forest data acquisition. The photogrammetric Journal of Finland. 21: 51-61.

[6]. Liang, X., Litkey, P., Hyyppä, J., Kaartinen, H., Vastaranta, M., and Holopainen, M. (2012). Automatic stem mapping using single-scan terrestrial laser scanning. geoscience and remote sensing, IEEE Transact, 59: 661-670.

[7]. Vastaranta, M., Latorre, E.G., Luoma, V., Saarinen, N., Holopainen, M., and Hyyppä, J. (2015). Evaluation of a smartphone app for forest sample plot measurements. Forests, 6: 1179-1194.

[8]. Wang, Y., Lehtomaki, M., Liang, X., Pyörälä, J., Kukko, A., Jaakkola, A., Liu, J., Feng, Z., Chen, R. and Hyyppä, J. (2019). Is field-measured tree height as reliable as believed – A comparison study of tree height estimates from field measurement, airborne laser scanning and terrestrial laser scanning in a boreal forest. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 147: 132–145.

[9]. Goodwin, AN. (2004). Measuring tall trees height from the ground. Tasforests, 15: 85-97.

[10]. Avery, T.E., and Burkhart, H. (2011). *Forest Measurements*. 5th Ed., McGraw-Hill. New York.

[11]. Pariyar, S., and Mandal, R.A. (2019). Comparative tree height measurement using different instrument .International Journal of Ecology and Environmental Sciences, 1(2): 12-17.

[12]. Lim, K., Treitz, P., Wulder, M., St-Onge, B., and Flood, M. (2003). LiDAR remote sensing of forest structure. Progress in Physical Geography, 27: 88–106.

[13]. Fan, Y., Feng, Z., Mannan, A., Khan, T.U., Shen, Ch., and Saeed, S. (2018). Estimating tree position, diameter at breast height, and tree height in real-time using a mobile phone with RGB-D SLAM. Remote Sensing, 10(11): 1845-1855.

[14]. Bijak, S., and Sarzyński, J. (2015). Accuracy of smartphone applications in the field measurements of tree height. Folia Forestalia Polonica, 57 (4): 240–244.

[15]. Itoh, T., Eizawa, J., Yano, N., Matsue, K., and Naito, K. (2010). Development of software to measure tree heights on the smartphone. Journal of the Japanese Forest Society, 92 (3): 221–225.

[16]. Villasante, A., and Fernandez, C. (2014). Measurement errors in the use of smartphones as low-cost forestry hypsometers. Silva Fennica, 48 (5): 1114. 1125.

[17]. Xinmei, W., Aijun, X., and Tingting, Y. (2019). Passive measurement method of tree height and crown diameter using a smartphone. Journal and Magezines of IEEE Access, 8: 11669-11678.

[18]. Höllerer, T.H., and Feiner, S.K. (2004). *Mobile Augmented Reality*. *Telegeoinformatics*: Location-Based Computing and Services.

[19]. Alkandari, A., Almuntairi, N.M., Alhayyan, W., and Almoiri, A. (2019). Google project tango and arcore under the view of augmented reality. Journal of computational and Theoretical Nanoscience, 16(3): 294-300.

[20]. Follott, M., Nock, C.A., Buteau, C., and Messier, C. (2016). Testing a new approach to quality growth response to pruning among three temperate three species. Arboriculture & Urban Forestry, 42(3): 133-145.

[21]. Momeni, M. and Ghayoumi, A.F. (2012). *Statistical analysis with SPSS*. 7th Ed., Shayegan Treasure Publishing, Tehran.

The efficiency of augmented reality technology in smartphones for estimating the height of trees (case study: green space conifers of Lorestan factulty agriculture and natural resources)

E. Karimzadeh Jafari ; Ph.D. Student, Forestry Group, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Lorestan, Khorramabad, I.R. Iran

J. Soosani*; Assoc., Prof., Forestry Group, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Lorestan, Khorramabad, I.R. Iran

(Received: 11 September, Accepted: 19 January 2020)

ABSTRACT

Achieving sustainable forest management at different levels depends on basic information measurement to understand the use of this data correctly. The height of trees is one of the most important components of forest measurement that it forms the body of many forestry research works. Therefore, much effort is being made to measure it faster and more accurately. Nowadays, smartphones have a variety of technologies for measuring the height of trees. In this research, the researcher tried to evaluate the efficiency of height measurement technology based on augmented of additional reality by carefully checking the height of some trees. For this purpose, the number of 75 coniferous trees in the Faculty of Agriculture and Natural Resources of Lorestan University was randomly selected and their height was measured by using the trupulse 360 (reference tool) and Augmented reality technology available in both iPhone 8 and Samsung S 8 smartphones. Paired comparisons of data were performed by using paired t-test and the correlation between data, the mean square error and the relative mean square error was measured too. By using the height measurement application, the highest correlation and the lowest RMSE value for iPhone8 were obtained, 0.989, 0.285 m and 4/97% respectively. By using the popular and current technology-based application, the RMSE was estimated to be 0.354 meters and 8/56% for the iPhone and 0.377 meters and 14/5% for the Samsung Galaxy. It seems the technologies in the new smartphones have this ability to replace the traditional tree height measurement tools.

Keywords: Augmented Reality, Smartphone, Tree height, iPhone 8, Samsung Galaxy S 8.

* Corresponding Author; Email: Soosani.j@lu.ac.ir, Tel:+98 9163678468.