

استفاده از روش سنجش از دور با دستگاه لایدار هوایی در تخمین میزان تعرق پوشش گیاهی و شاخص سطح برگ (LAI)

علی فریدحسینی^{۱*}، دیوید چارلز گودریچ^۲، راس برانت^۲ و سروش سروشیان^۳

چکیده

تخمین شاخصهای ساختمانی پوشش گیاهی مانند شاخص سطح برگ (LAI) یکی از عوامل مهم در تخمین میزان آب مصرفی گیاه است. در این مطالعه داده های مربوط به لایدار با فوت پرنیت کوچک برای تخمین شاخص سطح برگ مورد استفاده قرار گرفته است. چهار متغیر (ارتفاع گیاه، طول متوسط انرژی، نسبت لیزر منعکس شده از سطح زمین و سطح پوشش گیاه) که از لایدار با فوت پرنیت بزرگ که به طور مصنوعی از لایدار با فوت پرنیت کوچک بدست آمد، محاسبه شد. لایدار با فوت پرنیت بزرگ که به طور مصنوعی ساخته شده است با لایدار زمینی با فوت پرنیت بزرگ (ILRIS) نیز مقایسه گردیده است. چهار متغیر ذکر شده در بالا با استفاده از توابع رگرسیون گام به گام، رابطه قابل قبولی با شاخص سطح برگ (LAI) اندازه گیری شده برای سنین مختلف درختان چوب پنبه ای بدست دادند. همچنین در این مطالعه معادله تبخیر و تعرق پنمن و مانیتیت برای تخمین تعرق از این درختان با استفاده از خصوصیات بدست آمده از لایدار مورد استفاده قرار گرفته است. مقادیر تعرق تخمینی از لایدار با مقادیر تعرق که به صورت صحرایی اندازه گیری شده است با هم مقایسه شده، که با استفاده از نتایج مطلوب بدست آمده، شاخص سطح برگ (LAI) پیش بینی شده با سنجش از راه دور را می توان با دقت قابل قبولی برای تخمین میزان تعرق بکار برد.

واژه های کلیدی: تعرق، شاخص سطح برگ، لایدار، پنمن - مانیتیت

مقدمه

محدودیت های این روشها و غیر یکنواخت بودن اراضی، اندازه گیری پارامترهای مربوط به تبخیر و تعرق گیاه مثل LAI را مشکل و زمان برمی سازد. روش سنجش از دور می تواند به عنوان یک روش موثر و دقیق بر این محدودیتها و خطاها فائق آید. به خصوص لایدار هوایی، با نقاط برخورد و برگشت متعدد از گیاه و سطح زمین ابزار مطمئنی برای شناسایی گونه های گیاهان (Farid et al., 2006a) و همچنین برای تشخیص سنن و خصوصیات پوشش گیاهی (Farid et al., 2006b) محسوب می شود.

پیشرفتهای اخیر در شناسایی خصوصیات سه بعدی پوشش گیاهی، شامل تهیه و رسم نقشه ها از روی عکس های هوایی به طریقه برجسته بینی و استریوفوتوگرامتری دیجیتالی، رادار روزنه مصنوعی و لایدار (دستگاه تنظیم و شناسایی دامنه نور) می باشد. لایدار تکنیکی است که در آن نور در فرکانسهای بالا، بخصوص در طول موجهای مربوط به مادون قرمز، برای اندازه گیری فاصله بین یک سنسور و هدف بر مبنای زمان حرکت رفت و برگشتی (دو سره) بین منبع (سنسور) و هدف مورد استفاده قرار می گیرد. دستگاه لیزر هوایی سیستم اندازه گیری است که پالس هایی از نور (که معمولاً بوسیله لیزر تولید می شود) از دستگاهی واقع در هواپیما پخش شده که

الگوهای پوشش گیاهی و خصوصیات ساختمانی آنها در کارکرد آنها مثل استفاده از آب، تولید و چرخه انرژی تاثیر بسزائی دارند. یک سری از خصوصیات مربوط به گیاه و پوشش گیاهی بایستی تخمین زده شود تا نقش آنها در طرحهای مدیریتی و طراحی به منظور حفظ منابع طبیعی مشخص گردد. در مناطق خشک و نیمه خشک با مقدار زیاد تبخیر، مدیریت و حفاظت حوضه ها می تواند عامل مهم و موثری در تامین و تخمین مقدار آب مصرفی در کل منطقه باشد. علاوه بر این مقادیر تبخیر و تعرق از پوشش گیاهی یک عامل کلیدی برای مدل های آب زیر زمینی است که نقش مهمی در مدیریت منابع آب برای کل منطقه دارد. با این وجود تخمین آب مورد استفاده توسط گیاه بخصوص اگر پوشش گیاهی از نوع درختی باشد، با استفاده از تکنیک های متداول هواشناسی، کاری بسیار مشکل و وقت گیر است.

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
* نویسنده مسئول: (Email: afaridh@yahoo.com)

۲- اعضای هیات پژوهشی سازمان کشاورزی آمریکا-توسان، اریزونا، آمریکا

۳- استاد دانشگاه کالیفرنیا-ایرواین، آمریکا

است؛ اما زمینه های کاربردی لایدار با فوت پرینت کوچک تا کنون پیشرفت قابل ملاحظه ای نداشته و اساساً محدود به اندازه گیریهای خصوصیات وابسته به گیاهان خاص بوده است. بنابراین، عملکرد لایدار با فوت پرینت کوچک مورد آزمایش قرار نگرفته و حتی یک مورد از دیدگاههای تحلیلی و پردازشی نیز برای این نوع منطقه هنوز تعیین و شناسایی نشده است.

هدف ثانویه از این مطالعه این است که شاخص سطح برگ (LAI) براساس متغیرهای مختلف مربوط به شکل موج لایدار فوت پرینت بزرگ مصنوعی برای گروههای سنی متفاوت برآورد گردد. به علاوه، این تحقیق با به کار گیری مدل پنمن-مانتیت (Monteith and Unsworth, 1990) (P-M) تعلق را با استفاده از LAI محاسبه شده از لایدار، با تعلق اندازه گیری شده از روش حرکت شیره گیاهی مقایسه نموده است.

اهداف مشخص این تحقیق عبارتند از:

(الف) مدل نمودن یک شکل موج برگشتی لیزر به عنوان مقدار کل بازتاب نور از درون یک مجموعه ای از لیزر با فوت پرینت کوچک؛ مقایسه نتایج حاصله با تصاویر حاصله از سیستم تصویر سازی و تنظیم سازی ماکزیمم لیزر هوشمند زمینی (ILRIS). (ب) به دست آوردن چهار پارامتر (قد درخت، میانگین طول متوسط انرژی (HOME)، نسبت برگشت از سطح زمین (GRND) و نسبت برگشت از سطح درخت (CRND) از شکل موج کامل لایدار یا لیزر مصنوعی. به علاوه، این چهار پارامتر در یک فرایند رگوسیون گام به گام یا پله ای با هم ترکیب شده که به منظور تخمین LAI برای گروههای سنی متفاوت درختان چوب پنبه ای مورد استفاده قرار گرفته است. (ج) به کار گیری مدل P-M جهت تخمین تعلق با استفاده از LAI گرفته شده از لایدار و مقایسه ای نتایج حاصله با تعلق اندازه گیری شده بوسیله ای روش حرکت شیره گیاهی.

مواد و روش ها

مناطق مورد مطالعه

سه سایت مطالعاتی در دشت سیلابی منطقه ای ملی حفاظت شده ای ساحل رودخانه ای سن پدرو در جنوب شرقی ایالت آریزونا ای آمریکا واقع شده است. سایت مطالعاتی اسکالانت (Escalante) (با ارتفاع 1110 m، 110° 13'W، 31° 51'N) به طول 1/2 km از شمال به جنوب و پهنای 1/4 km از شرق به غرب بوده و نسبتاً مسطح می باشد. سایت مطالعاتی اسکالانت در یک ناحیه ای فصلی یا غیر دایمی در امتداد رودخانه واقع شده که عمق آب زیر زمینی در این قسمت در حدود 4/3 m تا 4/5 m می باشد. این سایت به منظور برآورد شاخص سطح برگ (LAI) از شکل موجی فوت پرینت بزرگ مصنوعی برای گروههای سنی مختلف درختان مورد استفاده قرار

در یک الگوی اسکن شده به سمت زمین هدایت می شود. نوع اطلاعات جمع آوری شده از این پالس برگشتی، دو مقوله ای گسترده از سنسور های لایدار را مشخص می کند: دستگاه های لایدار برگشت گسسته (با فوت پرینت کوچک) و دستگاه های ثابت موج کامل لیزر (با فوت پرینت بزرگ). سیستمهای لایدار برگشت گسسته به عنوان نمونه اجازه ای ثابت یک (اولین یا آخرین برگشت) یا چند تا برگشت (به عنوان مثال پنج تا برگشت) را برای هر پالس لیزر در زمان اسکن کردن بر عهده دارند. بر عکس، سیستم لایدار ثابت کننده موج کامل، مقدار انرژی برگشتی به سنسور را برای هر سری زمانی، ثابت می کند. اندازه فوت پرینت اکثر سیستمهای لایدار با برگشت گسسته در حدود ۰/۹-۰/۲ متر می باشد. اندازه فوت پرینت برای سیستمهای شکل موج کامل بین ۸ تا ۷۰ متر متغیر است (Means et al., 1999).

در مطالعات قبلی ویژگیهای شکل موج کامل لایدار را برای نواحی ساده، غیر قابل کشت (Gardner, 1992) و مقاطع یک بعدی مورد استفاده قرار داده اند (Abshire et al., 1994).

به علاوه، بلر و هافتن (Blair and Hofton, 1999) نشان دادند که توزیع عمودی داده های برگشت گسسته در بعد زمان، با شرایط خاصی که مهمترین آنها تراکم بالای نمونه های جمع آوری شده با استفاده از فوت پرینت کوچک است (در حدود ۲۵ cm)، بسیار به شکل موج کامل ثابت شده بوسیله ای دستگاههای ثابت شکل موج کامل لیزر نزدیک می باشد.

اساس اندازه گیری های جنگلی لایدار با استفاده از تکنیکهای فتوگرامتری، برای ارزیابی ارتفاع درخت، انبوهی پوشش درخت، حجم درختان جنگل و توده پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گرفته است. اندازه گیری های لیزری بصورت هوایی به جای اندازه گیری های فتوگرامتری برای تخمین ارتفاعات جنگل، انبوهی پوشش گیاهی (Nelson et al., 1989) و حجم درختان جنگل به کار رفته است (Maclean and Krabill, 1986; Nelson et al., 1988a, b).

به عنوان مثال نلسن و همکارانش (1988b) حجم درختان جنگل و توده پوشش گیاهی برای جنگلهای کاج جنوبی (*Pinus taeda*, *P. elliotti*, *P. echinata*, and *P. palustris*) را با استفاده از چندین برآورد از طول درخت و پوشش بوسیله لایدار با فوت پرینت کوچک پیش بینی کرده اند که اختلافی بین ۵۳٪ تا ۶۵٪ در مقایسه با اندازه گیری های صحرائی، برای این متغیر ها وجود داشته است.

هدف اولیه از این مطالعه به کارگیری یک سیستم لایدار با فوت پرینت کوچک، جهت مدلسازی شکل موج کامل لیزری در یک پوشش گیاهی است.

به علاوه، مقالات منتشر شده لایدار در این زمینه نتیجه مطلوبی را در چندین نوع جنگل برای لایدار با فوت پرینت بزرگ نشان داده

mm ثبت گردید. به منظور مشخص ساختن قطعات تقسیم بندی شده مربوط به درختان جوان، بالغ و مسن، معادلات خاص رودخانه سن پدرو مورد استفاده قرار گرفته که dbh را به سن درختان مربوط ساخته است. (Stromberg, 1998). با توجه به دامنه تغییرات dbh مقادیر کمتر از 25 cm برای درختان جوان، بین 90-25 cm برای درختان بالغ و بیشتر از 90 cm برای درختان مسن در نظر گرفته شد.

به طور کلی ۴۱ درخت جهت تعیین LAI مورد استفاده قرار گرفت. از این ۴۱ درخت، ۹ درخت مسن، ۱۵ درخت بالغ و ۱۷ درخت جوان به صورت تفکیک شده انتخاب شدند که حداقل 6 m از یکدیگر فاصله داشتند. از یک سیستم تفاضلی تعیین موقعیت جهانی (DGPS) جهت تعیین موقعیت مکانی هر درخت براساس دقت کمتر از متر استفاده شد.

(. ما چهار نقطه را در اطراف تاج هر درخت طوریکه لبه های تاج را ببوشاند، اندازه گیری کردیم. علاوه بر این، تمام موقعیتهای مکانی درختان با استفاده از اندازه گیری های ایستا s-60 توسط گیرنده های GPS ۱۲ کانالی مشخص شدند. ارتفاع آنتن GPS بین 1/8 تا 3/6 m، با ارتفاع متوسط 2/5 m بود. تمام اندازه گیری ها در زمان فصل برگریزان انجام گرفت. فقدان تاج و برگ درختان وهمچنین آنتن به کار گرفته شده مقدار خطای حاصله از پوشش درختان را در اندازه گیری های مربوط به GPS کاهش می دهد. این درختان در مجموعه ای از داده های لایدار بوسیله ی موقعیتهای مکانی، تطبیقی و صحرائی DGPS مورد شناسایی قرار گرفتند. (5700 GPS, Trimble Navigatiom, Ltd., Sunnyvale, CA

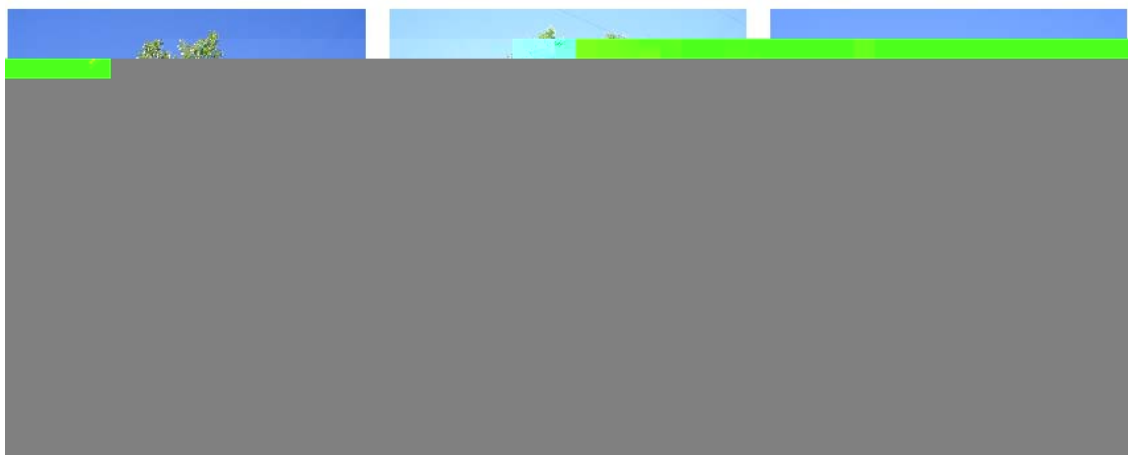
گرفته است. این منطقه ی تحت مطالعه بوسیله ی درختان مختلف از جوان تا پیر، و با قطعاتی از جنگلهای درختان کنار رودخانه ای که در امتداد رودخانه قرار گرفته اند، پوشیده شده است.

سایت مطالعاتی بوکیوس (Boquillas) (به ارتفاع 31° 69'N, 110° 18'W; 1180m که عمق آب زیر زمینی در این منطقه در حدود 3/1 تا 3/9 m می باشد. در مقایسه، سایت مطالعاتی لویس اسپرینگ (Lewis Spring) (به ارتفاع 31° 33'N, 110° 07'W; 1250 m) که در ناحیه غیرفصلی یا دائمی رودخانه سن پدرو واقع می باشد و عمق آب زیر زمینی در این ناحیه در حدود 1/1 تا 1/8 m می باشد. این دو سایت جهت به کارگیری مدل پنمن - مانتیت (P-M) برای تخمین میزان تعرق با استفاده از شاخص سطح برگ (LAI) برآورد شده از لایدار مورد استفاده قرار گرفته است؛ که با میزان تعرق اندازه گیری شده در هر دو سایت به صورت صحرائی مقایسه شده است. گیاهان در هر دو سایت از لحاظ خصوصیات سنی و اندازه بسیار شبیه به هم بودند.

جمع آوری داده ها

جمع آوری داده های زمینی

داده های معتبر زمینی یا صحرائی از آوریل ۲۰۰۳ تا اکتبر ۲۰۰۴ جمع آوری شده است. سه گروه سنی متفاوت از درختان در این نمونه گیری صحرائی به کار رفته است که عبارتند از: درختان جوان (با سن کمتر از ۱۵ سال)، درختان بالغ (سن بین ۱۶ تا ۵۰ سال) و درختان مسن (بالتر از ۵۰ سال سن) (شکل ۱). قطر تنه درخت در ارتفاع برابر سینه (dbh) (قطر اندازه گیری شده در این ارتفاع حدود 1/37m در بالای سطح زمین می باشد) با یک نوار متری اندازه گیری و با دقت



الف

ب

ج

(شکل ۱) - عکسهای گرفته شده از پوشش گیاهی جوان (الف)، بالغ (ب) و مسن (ج).

لیزر بدست آمده است. داده های لایدار با استفاده از نرم افزار Optech REALM 3.0.3d پردازش و طبقه بندی شده اند. در این طبقه بندی سه لایه تشخیص داده شده که عبارتند از: (۱) آخرین برگشت لیزر از روی سطح زمین، (۲) اولین برگشت لیزر از روی پوشش گیاهی و (۳) اولین برگشت لیزر از زمین پوشش گیاهی. لایه مربوط به آخرین برگشت لیزر از زمین نشان دهنده پستی و بلندی زمین است. در این مطالعه لایه های مربوط به اولین و آخرین برگشت لیزر از پوشش گیاهی، در یک لایه ترکیب شده اند. داده برگشتی لیزر از یک سطح نه تنها شامل داده های سه بعدی x ، y و z می باشد، بلکه شامل مقدار شدت انرژی برگشتی لیزر از این سطح نیز می باشد (Farid et al., 2006a).

اسکنر لیزر زمینی

اسکنر لیزر زمینی یا صحرایی مورد استفاده برای منطقه ی مورد مطالعه، در ژوئن ۲۰۰۴ برداشت شده، که یک سیستم سه بعدی تصویر سازی و تنظیم سازی لیزر هوشمند (ILRIS- 3D, Optech Inc., Toronto, Canada) با دقت عمودی 0/3cm می باشد. این اسکنر یک اشعه ی لیزر متمرکز را به سمت هدف فرستاده و موقعیت مکانی آن را براساس زمان حرکت اشعه لیزر به سمت هدف و بازگشت آن به سنسور اندازه گیری می کند. اندازه فوت پرینت ضربه برخورد با هدف حدود 1/5cm (فاصله بین هدف و اسکنر 50m است) می باشد. اسکنر لیزری در این برداشت مختصات سه بعدی x ، y و z را اندازه گیری می کند. فاصله ی بین نقاط روی سطح به طور متوسط 0/2cm می باشد.

به منظور اندازه گیری کامل پوشش درخت، دو برداشت از جهات کاملاً متفاوت مورد نیاز است. بعد از برداشت، اگر سه نقطه اندازه گیری شده توسط دستگاه GPS را بتوان در هر تصویر اسکن شده جای داد، دو تصویر مربوط به یک درخت را می توان به آسانی با هم ترکیب کرد.

به این منظور سه جعبه ی بزرگ مقوایی را در جلوی هر درخت قرار داده شد و سپس میلگردهایی را داخل زمین در گوشه های هر جعبه قرار گرفت. شکل ۲، جعبه ها را در جلوی یک درخت مسن به عنوان نمونه نشان می دهد (دو اسکن از جهات مخالف درخت). سپس نقاطی که در گوشه های جعبه ها برداشت شده با مختصات سطح زمین که توسط یک دستگاه DGPS اندازه گیری شده مطابقت می گردد. گوشه های این جعبه ها که میلگرد ها قرار داده شده به ما اجازه می دهد که جهات مختلف جغرافیایی را در تصویر اسکن شده تعیین محل کنیم. پس از این کار، مختصات x ، y و z از تصاویر آنالیز شده برحسب UTM و ارتفاع از سطح دریا بر حسب مترنیز بدست

مقدار LAI در ژوئن ۲۰۰۳ با استفاده از یک دستگاه اندازه گیری پوشش گیاهی (LAI 2000, Li-Cor, Inc., Lincoln, NE) برای گروه های سنی متفاوت مورد اندازه گیری قرار گرفته است. این شاخص از چهار نقطه ی مربوط به دو مسیر اصلی عمود بر هم در اطراف تنه ی هردرخت بوسیله یک سنسور با یک سر پوش 90° برای قسمت باز، اندازه گیری شد. سنسور هم در طول و هم در عرض تاج درخت قرار داده شد و کلیه اندازه گیری ها در هنگام غروب آفتاب، زمانی که هنوز آفتاب محو نشده بود انجام گرفت.

گزال و همکاران (۲۰۰۶)، حرکت شیره گیاه را برای چهار درخت در یک دسته ی مجزا از درختان برای دو منطقه مطالعاتی (بوکیوس و لویس اسپرینگ)، با استفاده از وسائل ثابت گرمایی از نوع گرانیپر (TDP- 30, TDP- 80, Dynamax Inc., Houston, TX) Granier اندازه گیری کرده اند.

علاوه بر این، دمای هوا، رطوبت نسبی، تابش خورشیدی، سرعت باد و فشار هوا از ایستگاه هواشناسی واقع در ۳ کیلومتری منطقه ی تحت مطالعه بوکیوس و 0/3 کیلومتری منطقه ی لویس اسپرینگ مورد استفاده قرار گرفت (Scott et al., 2000).

برای هر دو سایت، اندازه گیری های مربوط به ایستگاه هواشناسی به ترتیب در هر ۱۵ و ۳۰ دقیقه ثبت شده است. میزان تعرق برای دوره زمانی ۱ تا ۱۱ ژوئن ۲۰۰۳ (روز های ۱۵۲ تا ۱۶۲ در سال) برآورد شده که با زمان بررسی و برداشت لایدار در این تحقیق مطابقت دارد.

داده های مربوط به سنسور لایدار

دستگاه آپتک ALTM 1233 (Optech Inc., Toronto, Canada) جهت بررسی منطقه ی تحت مطالعه، در ۶ ژوئن سال ۲۰۰۳ مورد استفاده قرار گرفته است. خصوصیات مربوط به ALTM 1233 به صورت: فرکانس دستگاه حدود 28 Hz، زاویه ی اسکن برداری $20^\circ \pm$ ، روش برداشت به صورت برگشتهای اول و آخر شدت انرژی برگشتی لیزر برای طول موج 1064 nm مورد اندازه گیری قرار گرفت.

ALTM 1233 داخل هواپیمای مربوط به دانشگاه فلوریدا که در ارتفاع 750m از سطح زمین و با سرعتی در حدود $60ms^{-1}$ پرواز کرده است، تعبیه شده است. هواپیما با دستگاه با همدیگر نقاطی از سطح زمین را به فاصله ی 0/9 m به طور عرضی و به شکل زیگزاگی و با فوت پرینتی با قطر تقریباً 15 cm، کار برداشت را انجام داده اند. متوسط پهنا ی نوار برداشتی روی سطح زمین 546m است که کل منطقه ی مطالعاتی بوسیله ی چهار خط موازی پروازی پوشیده شده است. برای کل منطقه ی مورد مطالعه، تقریباً ۲ میلیون نقطه برگشتی

ارتفاعی مربوط به فوت پرنیت کوچک تولید نموده است. شکل ۳ الف، شامل توزیع سه بعدی داده های لایدار فوت پرنیت کوچک است، که برای یک فوت پرنیت بزرگ به قطر 26m که در واقع تاج درختی به بلندای 30m، در نظر گرفته شده است. شکل ۳ ب، توزیع عمودی این نقاط با فوت پرنیت کوچک را به عنوان تابعی از ارتفاع نمایش می دهد. روش مشابهی توسط پلر و هافتن (۱۹۹۹) ارائه شده است که توزیع عمودی داده های لایدار با فوت پرنیت کوچک با شکل امواج کامل ثبت شده توسط دستگاههای ثبت شکل موج با فوت پرنیت بزرگ همخوانی دارد. معذالک، مدلسازی شکل موج برگشتی با فوت پرنیت بزرگ برای درختان ساحل رودخانه، بدون بررسی باقی مانده و هنوز بایستی مسائل تجزیه ای و پردازشی مربوط به آن تعیین و شناسایی شوند. در این مطالعه تشابه بین هر شکل موج با فوت پرنیت بزرگ مدل سازی شده و شکل موج برگشتی از اسکنر ILRIS را با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون، ρ ، تحت بررسی قرار گرفت؛ به این صورت که: $\rho = S_{xy} / \sqrt{S_{xx} S_{yy}}$ ، که در آن S_{xx} ، S_{yy} و S_{xy} واریانس های مربوط به ILRIS، شکل امواج مصنوعی و مشترک بین این دو می باشند. برای مقایسه، داده های لایدار هوایی و ILRIS زمینی ۲۰۰۴ مورد استفاده قرار گرفته اند.

شکل ۴ پنج موج مصنوعی و امواج تطبیقی برگشتی ILRIS را با هم برای مقایسه روی نمودار نشان می دهد. نتایج حاصله از مقایسه شکل موج مدلسازی شده و شکل موج برگشتی از ILRIS برای درختان مسن در شکل ۴ الف-ج نشان داده شده است. در این بررسی بیشترین ρ حدود 0/73 است.

می آید. متأسفانه، بواسطه ی غیر قابل دسترس بودن منطقه تحت مطالعه ما از لحاظ وجود گیاهان متراکم و رودخانه، تنها از یک درخت اسکن شده تصاویری که از لحاظ جغرافیایی با مختصات زمینی همخوانی کامل داشته باشد به دست آمده است. بقیه ی درختان به اجبار به طور دستی و با یک روند طولانی، و تنها وقتی ادغام تصاویر آنها عملی شده که حداقل توانستیم سه نقطه مشترک را در هر تصویر که بایستی ترکیب شوند مشخص کرده باشیم. این محدودیت باعث شده که تعداد پوشش درختان اسکن شده را تا ۵ درخت برای ادغام و ترکیب کاهش دهد. بنابراین از ۲۴ درخت مسن و بالغ، سه درخت مسن و دو درخت بالغ انتخاب شده است. هیچ درخت جوانی برای این آنالیز انتخاب نشده است زیرا آنها با گیاهان متراکم و ساحل رودخانه مجاور بوده که سبب مسدود شدن پرتوهای لیزری شده است.

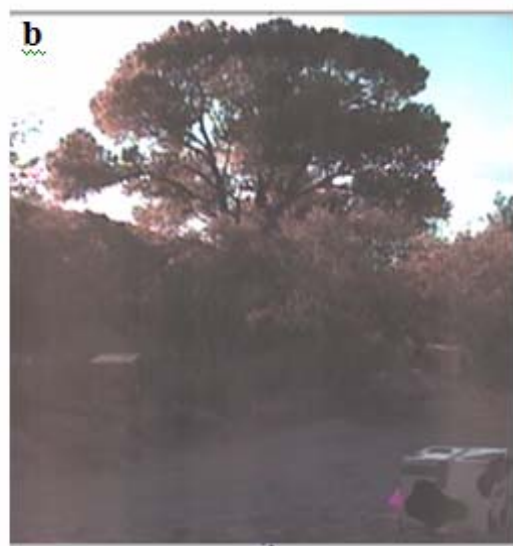
تجزیه، تحلیل و نتایج

این تجزیه و تحلیل، ترکیبی از داده های لایدار هوایی و زمینی که در سالهای ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ برداشت شده، می باشد. مدلسازی یک شکل موج برگشتی و مقایسه آن با اسکنر لیزرزمینی:

برای مدل کردن یک شکل موجی لایدار با فوت پرنیت بزرگ فرض شد که شکل یا ریخت هر موج با توزیع عمودی نقاط پراکنده و منقطع با یک فوت پرنیت کوچک از لایدار همخوانی دارد. برای شروع آنالیز متوسط پهنای یک درخت مسن چوب پنبه ای را برای مدل کردن انتخاب نمودیم. شکل موجی مدلسازی شده لایدار با فوت پرنیت بزرگ، مجموع بازتابش ها است که به طور عمودی نقاط

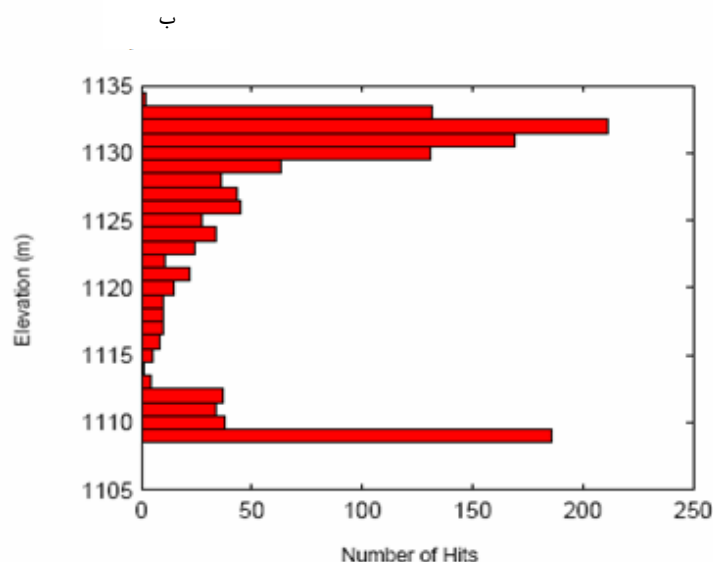
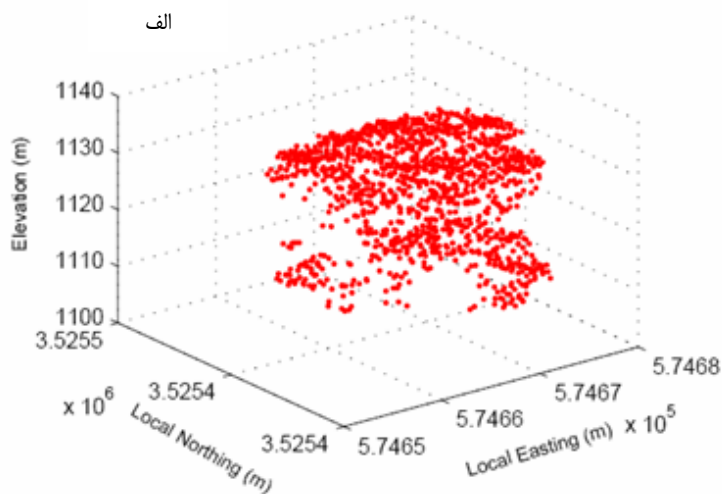


الف



ب

(شکل ۲) - جعبه های مقوایی نازک در قسمت جلو (پیش زمینه و الف) و پشت یکی از درختان مسن (ب، دو برداشت در جهات مخالف درخت).



(شکل ۳) - تصویری از پتانسیل شکل موجهای لایدار مصنوعی بدست آمده از روی داده های لایدار با فوت پرینت کوچک. (الف) توزیع سه بعدی داده های لایدار با فوت پرینت کوچک در یک فوت پرینت بزرگ با ابعاد $22\text{ m} \times 26\text{ m}$. (ب) توزیع عمودی این نقاط (داده های لایدار با فوت پرینت کوچک) را نشان می دهد.

تعداد نقاط برگشتی لایدار: Number of Hits

ارتفاع: Elevation

مجزا (عمودی) از پوشش می باشد. به طور کلی، شکل امواج لایدار زمینی و هوایی، از همبستگی خوبی برخوردار هستند. اگر چه شکل امواج مدل سازی شده و ILRIS، لایه های بازتابشی را در ارتفاعات همسان شناسایی می نمایند، اما مقیاسی بازتابش ها از این لایه ها متغیر است. به عنوان مثال، شکل امواج مدل سازی شده و ILRIS در هر دو سطح بازتابشی در ارتفاع 18m نشان می دهد که بازتابش در زمان اندازه

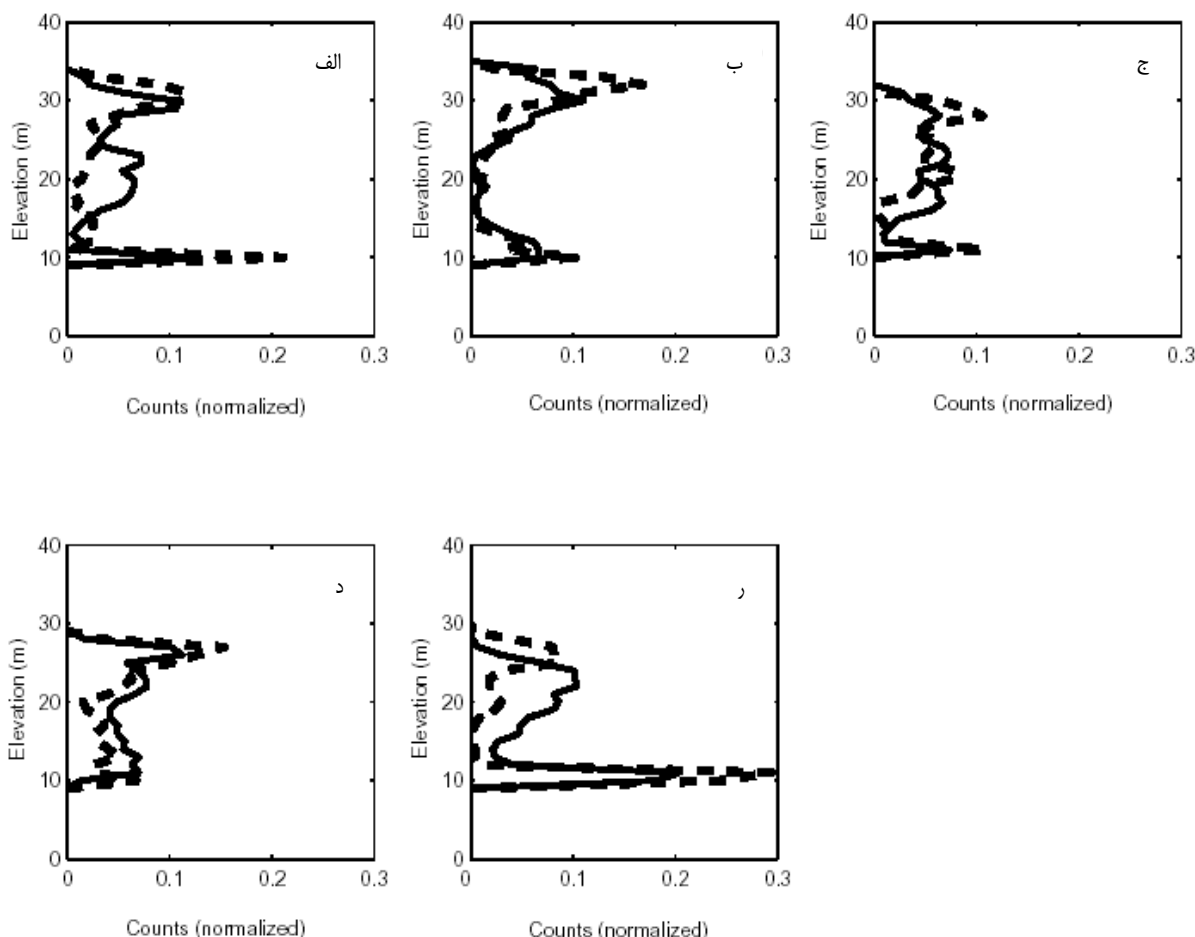
شکل های ۴ د، ۴ ر، شکل امواج مدل سازی و ILRIS را برای درختان بالغ، مقایسه کرده است. بیشترین مقدار p از 0/73 به 0/75 برای درختان بالغ، افزایش یافته است. شکل امواج وقتی که به صورت ساده و منفرد است برای سطوح زمین که مسطح و عاری از پوشش گیاهی است بدست آمده است (شکل های ۴ الف، ۴ ر). شکل امواج مدل سازی شده و ILRIS برای پوشش گیاهی به صورت نمودار تناوبی بوده که هر پیک در آن نشان دهنده یک لایه

تخمین شاخص سطح برگ (LAI) با استفاده از داده های لایدار

تخمین LAI از روی شکل امواج کامل لایدار مصنوعی با فوت پرینت بزرگ

چهار متغیر از ساختار مصنوعی یک شکل موج لایدار با فوت پرینت بزرگ (شکل ۵) که از روی داده های لایدار با فوت پرینت کوچک هوایی بدست آمده برای گروههای سنی متفاوت درختان محاسبه شده اند. طریقه محاسبه ارتفاع درخت از روی لایدار (LHT) به صورت شناسایی: (۱) محل نقطه ای داخل شکل موج مصنوعی، زمانیکه نخستین پالس گاسین (نرمال/گاوس) به بالاتر از یک سطح یا آستانه متوسط انرژی افزایش یابد (قسمت بالایی درخت)، (۲) مرکز آخرین پالس گاسین (برگشت زمینی).

گیری توسط ILRIS بسیار قویتر بوده؛ که به احتمال زیاد این امر در اثر تفاوت شرایط پوششی درخت در زمان بررسی های هوا بردی و ILRIS بوده است. تفاوت مهم سیستماتیک بین شکل امواج مدلسازی شده و ILRIS، پاسخ وسیعتر و بیشتر پوشش گیاهی به شکل موج برگشتی ILRIS می باشد (به عنوان مثال شکل ۴ الف). این تفاوت در نتیجه اولین برگشت لیزر در سیستم ILRIS و اختلاف زاویه برداشت بین سنسورهای هوا بردی و ILRIS است. همچنین، شکاف بزرگ در میان پوشش درختی در امتداد مسیر لیزر، ممکن است سبب کاهش دامنه پاسخ پوشش گیاهی در شکل موج برگشتی مدلسازی شده با استفاده از سیستم هوا بردی باشد. در ضمن، سیستم ILRIS مشکلاتی را در شناسایی نوک تاج درخت مسن دارد، که نشان می دهد که احتمالاً به دلیل شکل مخروطی و سرپهن تاج درخت است. در نهایت، اکثر بخش های مربوط به شکل امواج مدلسازی شده و ILRIS، ساختار عمودی مشابهی را در درختان دارا هستند.



شکل ۴- شکل موجهای ILRIS (خط پر) و مدلسازی شده (خط چین) برای درختان مسن (الف-ج) و بالغ (د-ر). p -ضریب همبستگی بیرون است.

Counts: تعداد نقاط برگشتی لایدار (نرمال سازی شده)

Elevation: ارتفاع

پارامترهای شکل موج مصنوعی لایدار قادر به تخمین LAI برای گروه‌های سنی متفاوت درختان است؛ هر چند که در تمام این موارد منظور داشتن تغییرات لگاریتمی متغیروابسته ضروری است. در این حالت، ضریب همبستگی بین LAI اندازه گیری شده زمینی یا صحرایی و پارامترهای لایدار (۴ پارامتر) 0/76، 0/78 و 0/81 به ترتیب برای درختان جوان، بالغ و مسن محاسبه شده اند.

رابطه^۱ بین LAI صحرایی و پارامترهای لایدار برای درختان جوان بوسیله^۲ دو عامل تأثیر پذیراست. اولین عامل، سطح تغییر پذیری ساختار درخت مسن (از لحاظ شکل موج) نسبت به درخت جوان بیشتر است. دومین عامل، وجود شکافهایی در پوشش درختان جوان است که اجازه می‌دهد تعدادی از پالسهای لیزر در پوشش درخت نفوذ کرده و مقادیر پایین تری را برای CRND موجب گردد.

همچنین، در این مناطق وجود درختان انبوهی مانند درختان مسن، سبب شده که تعداد کمتری از پالسهای لایدار به زمین رسیده که این امر باعث می‌شود HOME (میانگین طول متوسط انرژی) افزایش یابد. بر عکس، در مناطق بازتر یا پراکنده‌تر (مثل درختان جوان) پالسهای بیشتری به زمین رسیده که سبب کاهش HOME می‌شود. به علاوه، پارامترهای طولی یا ارتفاعی (مثل LHT و HOME) بیشترین حساسیت را دارا هستند که با افزایش سن درخت و قطر آن افزایش می‌یابند.

پارامتر LHT، احتمالاً پارامتری با بیشترین پتانسیل جهت برآورد ویژگیهای ساختاری درختان ساحل رودخانه‌ای به حساب می‌آید.

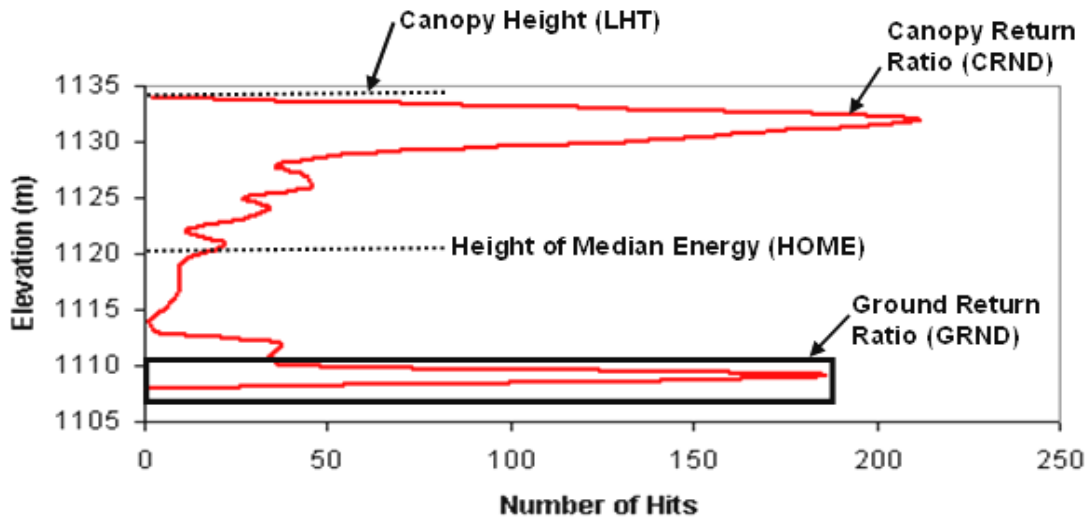
سیس فاصله^۳ بین این دو نقطه LHT را برآورد می‌کند. دومین پارامتر (HOME) که با پیدا کردن متوسط کل شکل موج محاسبه می‌گردد، موقعیت متوسط انرژی نسبت به مرکز آخرین پالس گاسین (برگشت زمینی)، جهت محاسبه طول ارجاع داده شده است. بنابراین پیش بینی می‌شود که پارامتر HOME (میانگین طول متوسط انرژی) نسبت به تغییرات عناصر مختلف پوشش درختی و میزان بازبودن آن حساس باشد (Drake et al., 2002). سومین پارامتر، نسبت ساده برگشت از سطح زمین (GRND) است که به این طریق محاسبه می‌گردد که تعداد نقاط حاصله از لیزر در آخرین پیک گاسین (برگشت زمینی) تقسیم بر مجموع بقیه نقاط حاصله از لیزر (کل نقاط منهای نقاطی از آخرین پیک گاسین (برگشت زمینی)) می‌گردد (شکل ۵). بنابراین GRND یک میزان تقریبی از تراکم پوشش درختی فراهم می‌سازد (Drake et al., 2002; Means et al., 1999). آخرین پارامتر برای محاسبه، CRND (نسبت برگشت از پوشش درخت) است که تعداد نقاط حاصله از لیزر زمانی که اولین پالس گاسین بیشتر از سطح یا آستانه متوسط انرژی (قسمت بالای پوشش درخت) است تقسیم بر مجموع بقیه نقاط حاصله از لیزر، CRND یک میزان تقریبی از پوشش درخت را فراهم می‌سازد.

این چهار پارامتر در یک مدل رگرسیون گام به گام به منظور پیش بینی LAI (لایدار - صحرایی) برای سنین متفاوت درختان قرار گرفته اند. بدین منظور، تغییرات متغیرهای وابسته و غیروابسته (شامل توان دوم، جذر ریشه و لگاریتم) نیز بررسی شده است (جدول ۱).

(جدول ۱) - معادلات رگرسیون یا همبستگی و نتایج آماری بدست آمده برای روابط بین LAI و پارامترهای به دست آمده از لایدار برای درختان جوان، بالغ و مسن.

گروه سنی گیاه	معادله	R ² *	RMSE	n
جوان	$\log(LAI) = 0.27 + 0.01 \cdot LHT + 0.01 \cdot HOME - 0.01 \cdot GRND - 0.02 \cdot CRND$	0.76	0.02	17
بالغ	$\log(LAI) = 0.20 + 0.004 \cdot LHT + 0.02 \cdot HOME - 0.01 \cdot GRND + 0.01 \cdot CRND$	0.78	0.01	15
مسن	$\log(LAI) = -0.29 - 0.05 \cdot LHT + 0.16 \cdot HOME - 0.47 \cdot GRND - 0.83 \cdot CRND$	0.84	0.04	9

*تمام مقادیر در سطح P<0/01 معنی‌دار هستند.



(شکل ۵) - متغیرهای مشتق شده از شکل موجهای لایدار با فوت پربنت بزرگ مصنوعی.

قد درخت: Canopy Height

نسبت برگشتی گیاه: Canopy Return Ratio (CRND)

متوسط کل شکل موج لیزر: Height of Median Energy (HOME)

نسبت برگشت زمینی: Ground Return Ratio (GRND)

ارتفاع: Elevation

تعداد نقاط برگشتی لایدار: Number of Hits

که در آن Δ شیب خط مربوط به فشار بخار اشباع و دما می‌باشد ($\text{Kpa } ^\circ\text{C}^{-1}$)، ρ_a چگالی هوای تر (kgm^{-3})، $c_p = 1/013 \text{ (kJ Kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1})$ ظرفیت گرمای ویژه هوای خشک در فشار ثابت، D - کمبود فشار بخار آب (kPa)، γ - ثابت سایکرومتری ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$)، r_c مقاومت پوشش گیاهی (s m^{-1})، r_a مقاومت ایرودینامیکی (s m^{-1})، λ - گرمای نهان تبخیر آب (MJkg^{-1})، و $A = \text{انرژی قابل دسترس (MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1})$ ، پارامترهایی چون Δ ، ρ_a ، γ و D از دمای هوا، رطوبت نسبی و فشار هوا برآورد می‌شوند که برگرفته از اندازه گیری های ایستگاههای هوا شناسی اطراف است. انرژی قابل دسترس در پوشش گیاهی از معادله ۴ به دست می‌آید:

$$A = S \downarrow (1 - \alpha) + L_{\text{net}} - S_t \quad (4)$$

که در آن S - میزان تابش خورشیدی ورودی ($\text{MJm}^{-2} \text{ day}^{-1}$)، α آلبدو (توان بازتاب) پوشش گیاهی، L_{net} - تابش موج خروجی از سطح زمین با طول موج بلند ($\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$)، و S_t - ذخیره موقت انرژی در اندام و تنه درخت و همچنین انرژی مورد استفاده در فرآیندها فتوسنتز

($\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$)، آلبدو پوشش درخت در حدود ۰/۱۸ تخمین

زده می‌شود، که این مقدار برای درختان بلوط پهن برگ اندازه گیری

برآورد میزان تعرق براساس داده های لایدار

در این بخش، تعرق پیش بینی شده از لایدار در مقایسه با میزان تعرق اندازه گیری شده از گردش شیره ای درخت برای دو سایت ساحل رودخانه ای مقایسه شده است. که به منظور برآورد دقیقتری از آب مصرفی درختان این قسمت ارائه شده است. در امتداد رودخانه سن پدرو، گزال و همکاران (۲۰۰۶) میزان تعرق درختان را به صورت کمی محاسبه کردند آنهم با استفاده از اندازه گیری های گردش عصاره ای درخت برای یک گروه منفرد از درختان، واقع در بخش جریان دائمی رودخانه و دیگر درختانی که در ناحیه جریان غیر دائمی یا فصلی در امتداد رودخانه واقع شده‌اند. این سایتها از لحاظ عمق و نوسانات فصلی سطح آب زیر زمینی متفاوت می‌باشند.

مدل P-M (Monteith and unsworth, 1990) برای تخمین میزان تعرق درختان با استفاده از LAI مشتق شده از لایدار برای بازه زمانی ۱ تا ۱۱ ژوئن سال ۲۰۰۳ (در طی روزهای ۱۵۲ تا ۱۶۲) انتخاب شده است. این مدل اجازه می‌دهد که میزان تعرق با استفاده از متغیر های هوا شناسی، مقاومت های ایرودینامیکی حاصل از باد روی برگ و روزنه‌ای برگ درخت محاسبه شوند (معادله ۳):

$$E = \frac{1}{\lambda} \left[\frac{\Delta A + \rho_a c_p D / r_a}{\Delta + \gamma(1 + r_c / r_a)} \right] (\text{mm/day}), \quad (3)$$

تخمین زده شده است. LAI مشتق شده از لایدار در یکی از سایتها در حدود ۳/۴۸ و در سایت دیگر حدود ۲/۷۸ می‌باشد. اینگونه فرض شده است که این مقادیر در کل دوره ی زمانی تحت بررسی، ثابت می‌باشند (از روز ۱۵۲ تا ۱۶۲ سال).

میزان کل تعرق روزانه پیش بینی شده از لایدار برای این درختان در سایت مطالعاتی اول بیشتر از سایت دوم برای سرتاسر دوره تحت مطالعه بوده است (شکل ۶). مقدار کل E پیش بینی شده توسط لایدار حدود 23 mm برای سایت سیلاب غیر دائمی و حدود 55 mm برای سایت سیلاب دائمی بدست آمده است. این نتیجه با مطالعات شیفر و همکارانش (Schaeffer et Al., 2000) که آب مصرفی گیاهان ساحل رودخانه ای به LAI مربوط می‌باشد مطابقت دارد. عمق آب زیر زمینی (d_{gw}) در سایت سیلاب غیر دائمی نسبت به سایت سیلاب دائمی عمیقتر است. در ناحیه سیلاب غیر دائمی، d_{gw} از 3/1 m در اوایل فصل بهار به 3/9 m در اوج دوره خشکسالی تغییر می‌یابد (Gazal et al., 2006). در منطقه سیلاب دائمی، d_{gw} کاهش تدریجی داشته برای زمان خشکسالی (قبل از بارندگی موسمی). عمق آب در آغاز فصل بهار 1/5 m بوده و به 1/8 m در اوج دوره ی خشکسالی افزایش یافته است (0/5 m کمتر از سایت غیر دائمی؛ Gazal et al., ۲۰۰۶). بنابراین دسترسی به آبهای زیر زمینی در عمق بیشتر با مقدار کمتری از LAI پیش بینی شده از لایدار، و تعرق مطابقت دارد. علاوه بر آن، r_s در منطقه سیلابی غیر دائمی بیشتر از منطقه سیلابی دائمی بوده؛ با بیشترین مقدار r_s که در اوج دوره خشکسالی قبل از بارندگی موسمی برآورد شده است (Gazal et al., 2006). در منطقه سیلاب غیر دائمی مقدار LAI کاهش یافته و همچنین افزایش r_s سبب تغییرات زیادی در تعرق پیش بینی شده از روی لایدار شده، که این دو پارامتر سبب کاهش سطح برگ و ضریب آبگذری می‌گردد؛ که این دو هدایت موثر روزانه ای را کاهش خواهند داد.

مقدار تعرق پیش بینی شده از لایدار برای پوشش گیاهی در دو سایت سیلابی تحت مطالعه ۵-۲٪ بیشتر از اندازه گیری های تعرق از روش گردش عصاره ای است (شکل ۷). تفاوت های موجود در LAI محاسبه شده از روی لایدار و اندازه گیری شده در صحرا، برای عمده تفاوت های موجود در مقدار E قابل توجیه است. در هر دو سایت تحت مطالعه، LAI محاسبه شده از لایدار بیشتر از LAI اندازه گیری شده در صحرا است. بنابراین، مقادیر بزرگتر LAI با مقادیر بیشتری از تعرق درختان در دو سایت ساحل رودخانه ای مطابقت دارند.

شده است (Bras, 1990). S_t در حدود ۵٪ از تابش ورودی خورشیدی برآورد می‌شود که این بر مبنای مطالعات مور و فیسچ (۱۹۸۶) است که S_t در دامنه ی تغییرات بین ۰ و ۱۰ درصد قرار گرفته است که بر اساس تابش خالصی است که در یک پوشش گیاهی قابل دسترس است. میزان مشارکت تابش موج خروجی از سطح زمین با طول موج بلند (L_{net}) در فرمول انرژی قابل دسترس، از فرمول بدست آمده توسط شاتل ورت (Shuttleworth, 1993) قابل محاسبه می‌باشد.

مقاومت ایروودینامیکی (r_a) مجموعی از مقاومت های بین برگ درخت و اتمسفر که بر اساس جریان متلاطم و مقاومت لایه مرزی است (Thom, 1975). بواسطه طبیعت نسبتاً باز درخت چوب پنبه ای، مقاومت مربوط به جریان متلاطم برای برگ درخت در مقایسه با مقاومت لایه مرزی، ناچیز است

(Goodrich et al., 2000). از اینرو r_a برابر با مقاومت لایه مرزی (r_b) است. به منظور تخمین مقاومت لایه مرزی (r_b)، در مدل پیشنهادی توسط چادهری و مونتیت (Choudhury and Monteith, 1988) فرمول ذیل استفاده شده است (معادله ۵):

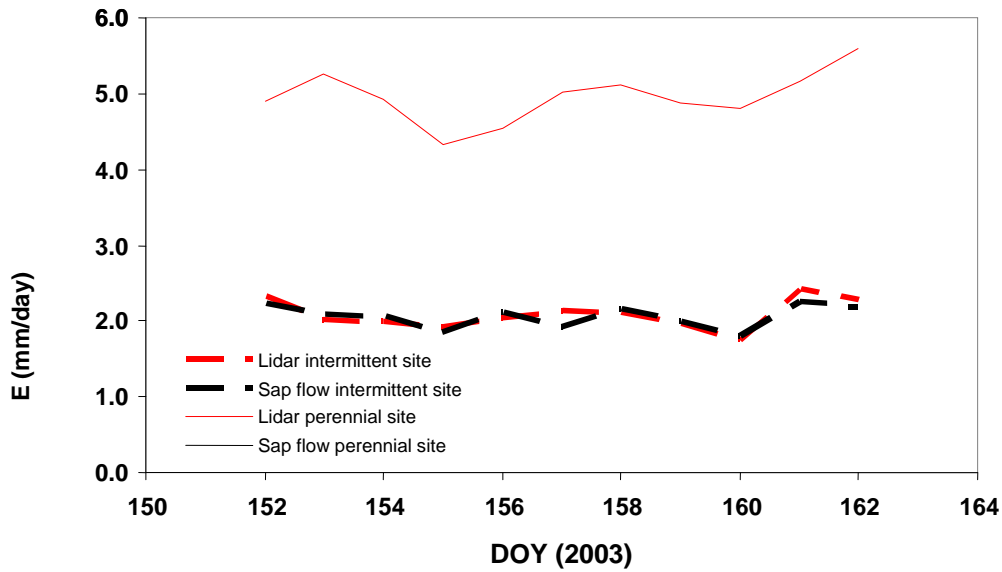
$$r_b = \frac{1}{(LAI)(b)} \alpha_{att} \sqrt{\frac{\omega}{U}} \left(1 - \exp\left(-\frac{1}{2} \alpha_{att}\right)\right) \quad (5)$$

در این معادله، LAI شاخص برگ پیشنهاد شده مربوط به پوشش گیاه، که مشتق شده از شکل موج مصنوعی لایدار با فوت پرنیت بزرگ است. مقدار b برابر است با $0/0067 \text{ m s}^{-1/2}$. این یک ضریب مقیاس برای مقاومت لایه مرزی برگ است (Magnani et al., 1998). α_{att} ضریب تغییر سرعت باد در داخل پوشش درخت، $\omega=0/05 \text{ m}$ - پهنای برگ و U - سرعت باد بیرون از پوشش درخت (در 10 m بالای سطح زمین اندازه گیری می‌شود). در پی مطالعات مگنانی و همکاران (۱۹۹۸) ضریب تغییر باد برابر ۳ بوده است.

تنها کمیّت باقیمانده جهت محاسبه میزان تعرق، برآورد مقاومت پوشش گیاهی (r_c) است. مقاومت پوشش گیاهی به مقاومت روزانه ای هر برگ مربوط است که از معادله ۶ محاسبه شده است (Goodrich et al., 2000):

$$r_c = \frac{r_s}{2LAI} \quad (6)$$

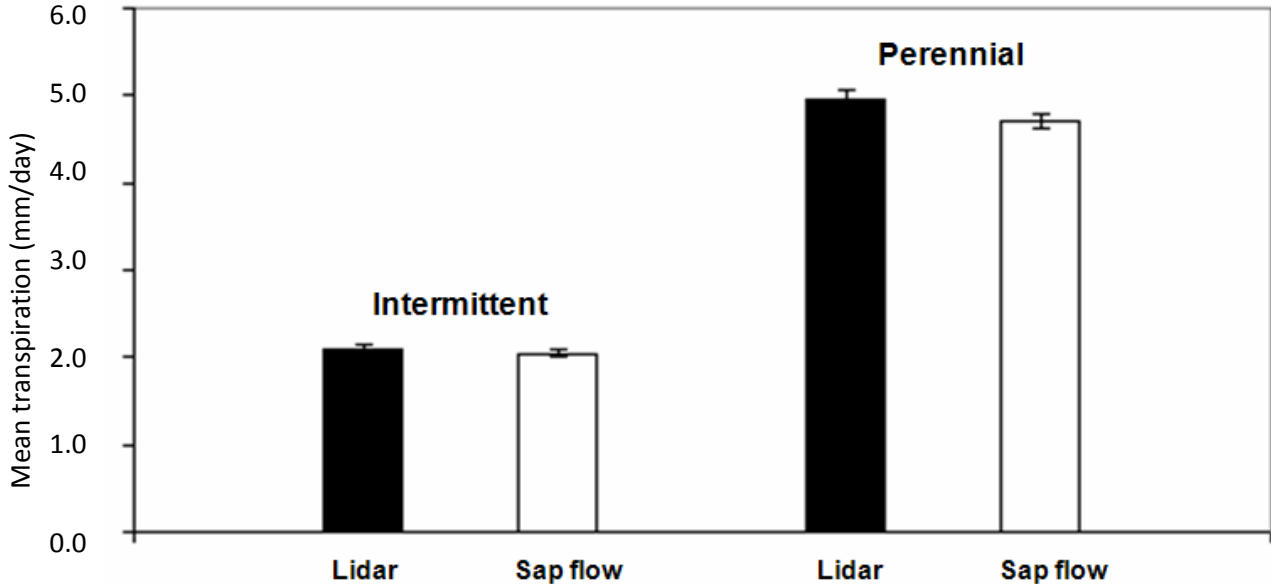
که در آن r_s بوسیله ی گزال و همکاران (۲۰۰۶) در هر دو سایت مطالعاتی برآورد شده است. LAI در هر دو سایت با استفاده از شکل موج مدل سازی شده برای لایدار و از روی اندازه گیری های زمینی



(شکل ۶) - برآورد کل تعرق روزانه‌ای از لایدار در مقابل تعرق برآورد شده از گردش عصاره ای درخت در مناطق سیلاب غیر دائمی و دائمی.

Intermittent: فصلی

Perennial: دائمی



(شکل ۷) - برآورد میانگین روزانه تعرق از لایدار در مقابل مقدار میانگین روزانه تعرق اندازه گیری شده از گردش عصاره ای درخت برای سایت‌های

سیلابی غیر دائمی و دائمی در دوره ی زمانی ۱۱ روزه که با زمان پرواز هواپیمای لایدار یکسان بوده است.

Intermittent: فصلی

Perennial: دائمی

نتیجه گیری

در این مطالعه نشان داده شد که می‌توان اطلاعات مربوط به ساختار عمودی پوشش گیاهی را در یک شکل موج برگشتی از فراز یاب لیزر با فوت پرینت بزرگ را با استفاده از مجموعه داده‌های ارتفاعی با فوت پرینت کوچک به دست آورد. شباهت‌های بین شکل موج مدلسازی شده و شکل موج برگشتی از ILRIS با استفاده از ضرایب همبستگی پیرسون ارزیابی شده است. به طور کلی این امواج، از ضریب همبستگی خوبی برخوردار هستند. اگر چه که شکل موجهای مدلسازی شده و ILRIS لایه‌های بازتابی را در ارتفاعات یکسانی شناسایی می‌کنند، اما مقدار نسبی این بازتابش‌ها متغیر است. علاوه بر این، تغییرات سنی درختان چوب پنبه‌ای در توزیع عمودی شکل موج منعکس می‌گردند.

برای هر درخت، چهار پارامتر از شکل موجهای برگشتی با فوت پرینت بزرگ مدل سازی شده، برای گروههای سنی متفاوت درختان در دالان ساحل رودخانه‌ای به دست آمده است. این چهار پارامتر در یک مدل رگرسیون گام به گام جهت پیش بینی LAI (لایدار-صحرایی) با هم ترکیب شده اند. پارامترهای مشتق شده از شکل موج لایدار قادر هستند LAI را برای گروههای سنی متفاوت درختان برآورد کنند؛ هر چند که در تمام موارد تغییرات لگاریتمی متغیر وابسته ضروری است.

مقدار تعرق این درختان از روی داده‌های هواشناسی و لایدار در مقابل داده‌های گردش عصاره‌ای، برای سایتهای ساحل رودخانه‌ای دائمی و غیر دائمی تحت مطالعه قرار گرفته است. میزان تعرق محاسبه شده از طریق لایدار برای دو سایت رودخانه‌ای، ۵٪-۲ بیشتر از تعرق بدست آمده از گردش عصاره‌ای برای دوره زمانی موردنظر بوده است. تفاوت موجود در LAI محاسبه شده از لایدار و اندازه‌گیری شده در سرزمین، اکثر تفاوت‌های موجود در مقدار تعرق را توجیح می‌کند.

به طور کلی، لایدار هوایی مزیت بزرگی را فراهم آورده است برای برآورد LAI در مناطق بزرگ و وسیع که از آن می‌توان برای بهبود تخمین‌های آب مصرفی ساحل رودخانه‌ای استفاده کرد. سیستم‌های لایدار با فوت پرینت کوچک و چند برگشتی هوا بردی قابل دسترس شده که انتظار می‌رود که هزینه‌های این داده‌ها نیز روبه کاهش باشد. این تحقیق بر روی درختان مجزا و منفرد تمرکز داشته تا روابطی را به منظور تخمین LAI برای برآوردهای آب مصرفی ساحل رودخانه‌ای توسعه دهد که این موضوع شامل پوشش درختان متراکم و روی هم انباشته نمی‌گردد. علاوه بر این، لایدار قادر نیست که براساس کنترل روزنه‌ای مربوط به برگ‌ها اطلاعاتی را فراهم

آورد تا میزان آب مصرفی درختان را برآورد کند، بنابراین برآوردهای مستقل از میزان مقاومت روزنه‌ای سطح برگ مورد نیاز است. معذالک، داده‌های لایدار بدست آمده و اندازه‌گیریهای مربوط به شاخص سطح برگ (LAI)، پتانسیل قابل توجهی را برای بهبود برآورد آب مصرفی ساحل رودخانه‌ای مطرح ساخته است.

در آینده می‌توان بررسی کرد که تا چه اندازه لایدار قادر است LAI را در پوششهای پیچیده در سطح وسیع برآورد نماید. مدل P-M میزان تعرق را با استفاده از پارامترهای مربوط به پوشش که برگرفته از لایدار است، برای تمام کریپور گیاهی مورد بررسی قرار دهد.

مراجع

- Abshire, J.B., McGarry, J.F., Pacini, L.K., Blair, J.B., Elman, G.C., (1994), Laser Altimetry Simulator Version 3.0 User's Guide, NASA Technical Memorandum 104588. Greenbelt, Maryland, 70.
- Blair, J.B., Hofton, M.A., (1999), Modeling laser altimeter return waveforms over complex vegetation using high-resolution elevation data. *Geophysical Research Letters* 26, 2509-2512.
- Blair, J.B., Rabine, D.L., Hofton, M.A., (1999), The Laser Vegetation Imaging Sensor (LVIS): a medium-altitude, digitization-only, airborne laser altimeter for mapping vegetation and topography. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 54, 115-122.
- Bras, R., (1990), Hydrology. Addison-Wesley, Reading, 44.
- Choudhury, B.J., Monteith, J.L., (1988), A four-layer model for the heat budget of homogeneous land surfaces. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society* 114, 373-398.
- Drake, J.B., Dubayah, R.O., Clark, D.B., Knox, R.G., Blair, J.B., Hofton, M.A., Chazdon, R.L., Weishampel, J.F., Prince, S.D., (2002), Estimation of tropical forest structural characteristics using large-footprint lidar. *Remote Sensing of Environment* 79, 305-319.
- Farid, A., Rautenkranz, D., Goodrich, D.C., Marsh, S.E., Sorooshian, S., (2006), Riparian vegetation classification from airborne laser scanning data with an emphasis on cottonwood trees. *Canadian Journal of Remote Sensing* 32, 15-18.
- Farid, A., Goodrich, D.C., Sorooshian, S., (2006), Using airborne lidar to discern age classes of cottonwood trees in a riparian area. *Western Journal of Applied Forestry* 21, 149-158.
- Gardner, C.S., (1992), Ranging performance of satellite laser altimeters. *IEEE Transactions on Geoscience*

- Agriculture and Forestry. Lake Buena Vista, Florida, 85-192.
- Monteith, J.L., Unsworth, M.H., (1990), Principles of Environmental Physics. Edward Arnold, London, England.
- Moore, C.J., Fisch, G., (1986), Estimating heat storage in Amazonian tropical forests. *Agricultural and Forest Meteorology* 38, 147-169.
- Naesset, E., (1997a), Determination of mean tree height of forest stands using airborne laser scanner data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 52, 49-56.
- Naesset, E., (1997b), Estimating timber volume of forest stands using airborne laser scanner data. *Remote Sensing of Environment* 61, 246-253.
- Nelson, R.F., Krabill, W.B., Maclean, G.A., (1984), Determining forest canopy characteristics using airborne laser data. *Remote Sensing of Environment* 15, 201-212.
- Nelson, R.F., Swift, R., Krabill, W.B., (1988a), Using airborne lasers to estimate forest canopy and stand characteristics. *Journal of Forestry* 86, 31-38.
- Nelson, R.F., Krabill, W.B., Tonelli, J., (1988b), Estimating forest biomass and volume using airborne laser data. *Remote Sensing of Environment* 24, 247-267.
- Ritchie, J.C., Evans, D.L., Jacobs, D., Everitt, J.H., Weltz, M.A., (1993), Measuring canopy structure with an airborne laser altimeter. *Transactions of the ASAE* 36, 1235-1238.
- Schaeffer, S.M., Williams, D.G., Goodrich, D.C., (2000), Transpiration of cottonwood/willow forest estimated from sap flux. *Agricultural and Forest Meteorology* 105, 257-270.
- Scott, R.L., Shuttleworth, W.J., Goodrich, D.C., Maddock, T. III, (2000), The water use of two dominant vegetation communities in a semiarid riparian ecosystem. *Agricultural and Forest Meteorology* 105, 241-256.
- Shuttleworth, W.J., (1993). Evaporation. In: Maidment, D.R., *Handbook of Hydrology*. McGraw-Hill, New York, 4.1-4.53.
- Stromberg, J.C., (1998), Dynamics of Fremont cottonwood (*Populus fremontii*) and saltcedar (*Tamarix chinensis*) populations along the San Pedro River, Arizona. *Journal of Arid Environments* 40, 133-155.
- Thom, A.S., (1975), Momentum, mass and heat exchange of plant communities. In: Monteith, J.L., *Vegetation and the Atmosphere*. Academic Press, New York, 57-109.
- Wehr, A., Lohr, U., (1999), Airborne laser scanning-an introduction and overview. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 54, 68-82.
- Weishampel, J.F., Harding, D.J., Boutet, J.C. Jr., Drake, J.B., (1997), Analysis of laser altimeter waveforms for forested ecosystems of central Florida. *Proceedings of the SPIE Conference on Advances in Laser Remote Sensing for Terrestrial and*
- and Remote Sensing* 30, 1061-1072.
- Gazal, R.M., Scott, R.S., Goodrich, D.C., Williams, D.G., (2006), Controls on transpiration in a semiarid riparian cottonwood forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 137, 56-67.
- Goodrich, D.C., Scott, R., Qi, J., Goff, B., Unkrich, C.L., Moran, M.S., Williams, D., Schaeffer, S., Snyder, K., Macnish, R., Maddock, T., Pool, D., Chehbouni, A., Cooper, D.I., Eichinger, W.E., Shuttleworth, W.J., Kerr, Y., Marsett, R., Ni, W., (2000), Seasonal estimates of riparian evapotranspiration using remote and in-situ measurements. *Agricultural and Forest Meteorology* 105, 281-309.
- Harding, D.J., Blair, J.B., Garvin, J.B., Lawrence, W.T., (1994), Laser altimetry waveform measurement of vegetation canopy structure. *Proceedings of the International Remote Sensing Symposium*. Pasadena, California, 1251 – 1253.
- Lefsky, M.A., Cohen, W.B., Acker, S.A., Spies, T.A., Parker, G.G., Harding, D., (1999). Lidar remote sensing of biophysical properties and canopy structure of forest of Douglas-fir and western hemlock. *Remote Sensing of Environment* 70, 339-361.
- Lim, K., Treitz, P., Baldwin, K., Morrison, I., Green, J., (2003), Lidar remote sensing of biophysical properties of tolerant northern hardwood forests. *Canadian Journal of Remote Sensing* 29, 658-678.
- Maclean, G.A., Krabill, W.B., (1986), Gross-merchantable timber volume estimation using an airborne LIDAR system. *Canadian Journal of Remote Sensing* 12, 7-18.
- Magnani, F., Leonardi, S., Tognetti, R., Grace, J., Borghetti, M., (1998), Modelling the surface conductance of a broadleaf canopy: effects of partial decoupling from the atmosphere. *Plant, Cell Environment* 21, 867-879.
- Magnussen, S., Boudewyn, P., (1998), Derivations of stand heights from airborne laser scanner data with canopy-based quantile estimators. *Canadian Journal of Forestry Research* 28, 1016-1031.
- Magnussen, S., Eggermont, P., LaRiccia, V.N., (1999), Recovering tree heights from airborne laser scanner data. *Forest Science* 45, 407-422.
- Means, J.E., Acker, S.A., Harding, D.J., Blair, J.B., Lefsky, M.A., Cohen, W.B., Harmon, M., McKee, W.A., (1999), Use of large-footprint scanning airborne lidar to estimate forest stand characteristics in the western Cascades of Oregon. *Remote Sensing of Environment* 67, 298-308.
- Means, J.E., (2000), Comparison of large-footprint and small-footprint lidar systems: design, capabilities, and uses. *Proceedings of Second International Conference on Geospatial Information in*

extraction of tree locations and basal area from high spatial resolution imagery. Remote Sensing of Environment 73, 103-114.
Wulschleger, S.D., Meinzer, F.C., Vertessey, R.A., (1998), A review of whole-plant water use studies in trees. Tree Physiology 18, 499-512.

Oceanographic Applications 3059, 184-189.
World Rivers Review, (1997), Biodiversity, North America. World Rivers Review, News Briefs 12, February (1997), International Rivers Network, Internet document: <http://www.irn.org/pubs/wrr/9701/briefs.html> (last date accessed: 15 May 2004).
Wulder, M., Niemann, K.O., Goodenough, D.G., (2000), Local maximum filtering for the

تاریخ دریافت: ۸۷/۷/۱۵

تاریخ پذیرش: ۸۷/۹/۲۵

Using airborne lidar to predict transpiration and leaf area index

A. Faridhosseini ^{1*}, D.C. Goodrich ², R. Bryant ³, S. Sorooshian ⁴

Abstract

Estimation of riparian forest structural attributes, such as the Leaf Area Index (LAI), is an important step in identifying the amount of water use in riparian forest areas. In this study, small-footprint lidar data were used to estimate biophysical properties of young, mature, and old cottonwood trees in the Upper San Pedro River Basin, Arizona, USA. Four metrics (tree height, height of median energy, ground return ratio, and canopy return ratio) were derived by synthetically constructing a large footprint lidar waveform from small-footprint lidar data which were compared to ground-based high-resolution Intelligent Laser Ranging and Imaging System (ILRIS) scanner images. These four metrics were incorporated into a stepwise regression procedure to predict field-derived LAI for different age classes of cottonwoods. This research applied the Penman-Monteith model to estimate transpiration of the cottonwood clusters using lidar-derived canopy metrics. These transpiration estimates compared very well to ground-based sap flux transpiration estimates indicating lidar-derived LAI can be used to improve riparian cottonwood water use estimates.

Keywords: Lidar, San pedro, Transpiration, Leaf Area Index, Penman - Monthieth

1 - Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

(* - Corresponding author Email: afaridh@yahoo.com)

2- USDA-ARS-SWRC, Southwest Watershed Research Center, Tucson, AZ, USA

3- Department of Civil and Environmental Engineering, University of California, Irvine, USA