

مطالعه لایه مرزی روزانه جو شهری با استفاده از مشاهدات مستقیم و یک مدل پیش بینی عددی میان مقیاس

عباسعلی علی اکبری بیدختی، مسعود خوش سیما، سمانه ثابت قدم

موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

چکیده

مطالعه رشد لایه آمیخته جو شهری از نظر توزیع و پخش آلاینده ها بخصوص وضعیت آلودگی هوا بسیار با اهمیت می باشد، چنین بررسی هایی را می توان با استفاده از مدل های پیش بینی عددی وضع هوا و یا روش های اندازه گیری مستقیم انجام داد. تعیین عمق و تغییرات لایه مرزی جو شهری (لایه آمیخته) برای شهر زنجان ($48.5^{\circ}N$ و $36.7^{\circ}E$ و $1700 m$) توسط لیدار با طول موج $532 nm$ - که مبتنی بر تغییرات در راستای قائم ایروسلها و پراکندگی آنها می باشد- در مرکز تحصیلات تکمیلی زنجان به صورت شبانه روزی و برای چند روز نوعی در فصل بهار و تابستان که عمق لایه از ۱ تا ۳ کیلومتر در شرایط همدیدی مختلف تغییر می کند، انجام شده است. سپس از آنجا که تعیین این عمق توسط مشاهدات مستقیم همواره در دسترس نیست، از تخمین عمق لایه آمیخته توسط مدل میان مقیاس پیش بینی عددی وضع هوا $MM5$ با در نظر گرفتن یک طرحواره مناسب برای لایه مرزی (طرحواره MRF) جهت امکان سنجی پیش بینی توسط مدل استفاده شده و نتایج این دو بررسی مقایسه می شود. این خود می تواند توانایی های مدل های میان مقیاس و قابلیت های آنها، در ارتباط با پیش یابی عمق لایه مرزی (لایه آمیخته) را آشکار کند.

واژه های کلیدی: عمق لایه آمیخته، لیدار، مدل میان مقیاس پیش بینی عددی وضع هوا ($MM5$)

۱-مقدمه

مشاهدات تجربی لایه های جوی بخصوص در ارتفاعات پایین، بعلا اثرات ایرسل ها، بخار آب و آلودگیها، بسیار حائز اهمیت می باشد. کیفیت هوا ارتباط مستقیمی با حضور لایه های وارونگی، مخصوصا هنگامی که آلودگی نیز حضور داشته باشد، دارد. عموما تمرکز ایرسل ها در لایه مرزی سیاره ای^۱ بیشینه است و از اینرو برای تحقیقات در زمینه آلودگی هوا می توان از اندازه گیریهای ارتفاع لایه مرزی استفاده کرد. (هی و همکاران، ۲۰۰۵)^۲

طبق تعریف، لایه مرزی سیاره ای لایه پایینی از جو است که تحت تاثیر سطح قرار دارد و جریانات گرما و تکانه را بین سطح و جو آزاد کنترل می کند و از اینرو نقش مهمی را در گردشهای جوی دارا می باشد. از آنجا که بر روی اقیانوسها تغییرات شبانه روزی دمای سطح آب بسیار کم می باشد، بنا براین عمق لایه مرزی بسیار آهسته نسبت به مکان و زمان دچار تغییر می شود. برعکس لایه مرزی بر روی مناطق خشکی ساختار خوش تعریفی دارد که با

¹ Planetary Boundary Layer (PBL)

² He et al.

توجه به چرخه شبانه روزی رشد می کند. (استال ۱۹۸۸)^۱ در یک چرخه شبانه روزی پس از طلوع خورشید لایه مرزی رشد می کند و در بعد از ظهر نشست می کند. (رجوع به شکل ۱ (ویباو و همکاران، ۲۰۰۱))^۲ روشهای تجربی متفاوتی برای بررسی ارتفاع لایه ها در ارتفاعات پایین تر و پوسفر استفاده می شود. برخی از روشها بر پایه اندازه گیریهای مستقیم از پارامترهای هواشناسی بنا شده اند - مانند استفاده از برج های هواشناسی، رادیو سند ها و یا بالونهای هواشناسی - برخی دیگر بر پایه اندازه گیریهای سنجش از راه دور - مانند سودار، رادار، و لیدار - می باشند. (توماسی و همکاران، ۲۰۰۵)^۳ در این مقاله برای نخستین بار اندازه گیریها جهت تعیین عمق و تغییرات لایه مرزی جو شهری (لایه آمیخته) برای شهر زنجان ($48.5^{\circ}N$ و $36.7^{\circ}E$ و 1700 m) توسط لیدار صورت گرفته است.

لیدار از واژه Light Detecting And Ranging (LIDAR) گرفته شده است. بالغ بر دو دهه است که از لیدار برای به دست آوردن اطلاعات در مورد جو زمین استفاده می شود که از آن جمله می توان به اندازه گیری میزان رطوبت موجود در جو، ارتفاع و سرعت ابر، نمایه های باد و دما و دمای پتانسیلی و ترکیبات شیمیایی جو اشاره کرد، که هر یک از این کمیت ها یا به صورت مستقیم اندازه گیری می شود و یا به صورت پارامتر وارد فرمولهای مربوط به لیدار می شوند. لیدارهایی که در ناحیه طیف مرئی و UV عمل می کنند، به پرتوهای پس پراکنده شده توسط مولکولها و ابروسلها حساس می باشند. در ناحیه جدا کننده دو لایه، تغییرات در راستای قائم تمرکز مولکولها اندک است در صورتی که تغییرات در راستای قائم تمرکز ابروسلها قابل ملاحظه است. (فلامان و همکاران، ۱۹۹۷)^۴ از این رو لیدار قادر خواهد بود رشد تغییرات زمانی در راستای قائم لایه های ابروسلها را تعقیب کنند و همچنین برای بازنگری های بلند مدت نیز مناسب می باشند که در بخش ۲ به توضیح آن پرداخته خواهد شد. از سوی دیگر می توان از مدلهای پیش بینی عددی میان مقیاس برای تخمین عمق این لایه استفاده کرد. از آنجا که تعیین عمق لایه آمیخته توسط مشاهدات مستقیم همواره دردسترس نیست، از تخمین عمق لایه آمیخته توسط مدل پیش بینی عددی میان مقیاس MM5 جهت امکان سنجی پیش بینی توسط مدل استفاده می شود. استفاده از پارامترهای لایه مرزی که عمق لایه آمیخته جواز مهمترین آنهاست، در بهبود دقت پیش بینی مدلهای عددی مهم می باشد و نتایج پیش بینی های دقیق، اهمیت مطالعه و بررسی هر چه بیشتر لایه مرزی جو را بیش از پیش نمایان می کند. (بخش ۳) و در انتها نتایج این دو بررسی در بخش ۴ و ۵ مقایسه خواهد شد.

۲ - توصیف سایت لیدار

اندازه گیری های انجام گرفته مبتنی بر دریافت سیگنالهای پس پراکنشی لیدار مرکز تحصیلات تکمیلی زنجان با موقعیت جغرافیایی ($48.5^{\circ}N$ و $36.7^{\circ}E$ و 1700 m) می باشد. داده های به دست آمده حاصل اندازه گیری های پیوسته است. مشخصات لیدار مورد استفاده در این بررسی در جدول ۱ به اختصار آمده است.

در این لیدار از تپ های هماهنگ دوم یک لیزر Nd-YAG با طول موجهای ۱۰۶۴ nm و ۵۳۲ nm و طول تپ های ۵ n-sec و انرژی متوسط $40 \frac{mJ}{pulse}$ استفاده می شود و سیگنالهای دریافت شده حاوی اطلاعات ارتفاع،

¹ Stull
² Weibiao et al.
³ Tomasi et al.
⁴ Flamant et al.

نمایه و توزیع ایروسولها می باشد، که در حال حاضر تنها اطلاعات مربوط به ارتفاع و نحوه پخش ایروسولها که به صورت سری های زمانی مشخص می شوند، مورد استفاده قرار می گیرند.

۳- آزمایش های عددی

برای اجرای مدل ۳ محدوده^۱ در دو جهت شبکه بندی، با دقتهایی به صورت ۲۷ و ۹ و ۳ km انتخاب می شود و کوچکترین محدوده به مرکزیت مکان لیدار ($48.5^{\circ}N$ و $36.7^{\circ}E$ و 1700 m) انتخاب می شود. شرایط اولیه و شرایط مرزی هر ۳ ساعت یک بار توسط نتایج بدست آمده از مدل ECMWF $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ به روز رسانی می شود. در راستای قائم ۲۳ تراز σ در نظر می گیریم.

در این بررسی برای طرحواره رطوبت صریح از طرحواره یخ-ساده^۲ و برای طرحواره تابش از طرحواره تابش ابر و برای پارامتره کردن همرفت از طرحواره بتس-میلر^۳ و برای پارامتره کردن لایه مرزی از طرحواره MRF استفاده می شود. این طرحواره یک طرحواره غیر محلی^۴ از بستار درجه ۱ طرحواره های لایه مرزی است که در آن شارهای تلاطمی به عنوان تابعی از سرعت اصطکاک، سرعت همرفتی و ارتفاع لایه اختلاطی محاسبه می شوند. پارامتره کردن MRF معادله تعمیم یافته ای را معرفی می کند که طی آن عمق لایه مرزی را با توجه به عدد ریچاردسون محاسبه می کند.

مدل برای سه روز نوعی دهم ماه می ۲۰۰۶ در فصل بهار و هفدهم و بیست و پنجم ماه آگوست سال ۲۰۰۶ در فصل تابستان به صورت ۲۴ ساعته اجرا می شود و خروجی ها هر ۲ ساعت ۱ بار ذخیره می شوند. عمق لایه مرزی را با توجه به نتایج به دست آمده از پروفایل قائم دمای پتانسیلی تخمین زده می شود و از این رو می توان نتایج به دست آمده از خروجی عمق لایه مرزی مدل را به صورت نمودار تقریباً پیوسته ای در طول ۲۴ ساعت رسم کرد.

۴- نتایج و بحث آنها

۴-۱- دهم می ۲۰۰۶

شرایط سینوپتیکی این روز با استقرار سامانه کم فشار شرق اروپا و یک سامانه پر فشار بر روی شمال خزر مشخص می شود و باد های ضعیف در جهت شرق جریان دارند و شرایط نسبتاً آرامی حکمفرماست (شکل ۲). در شکل ۳ عمق لایه مرزی برای این روز توسط مدل و مقادیر اندازگیری توسط لیدار نشان داده شده است. مدل ساعت رسیدن به ارتفاع بیشینه لایه مرزی را با حدود نیم ساعت تاخیر زمانی نشان می دهد. در ابتدای صبح بین مشاهده و خروجی مدل نسبت به ساعات دیگر روز همخوانی کمتری موجود می باشد که عدم لحاظ وجود گرد غبار محلی صبحگاهی در مدل می تواند علت این امر باشد، چرا که با طلوع خورشید و گرمایش لایه سطحی همرفت تلاطمی آغاز می شود و این در حالی است که سرعت دیفیوژن غبار^۵ از همرفت لایه

¹ Domain

² Simple-Ice

³ B-M

⁴ Non-local

⁵ Haze

مرزی بیشتر است. هیروکی و همکارانش^۱ در سال ۲۰۰۰ در یک سال مشاهدات لیداری نیز چنین نتایج مشابهی را بررسی کردند.

۲-۴- هفدهم آگوست ۲۰۰۶

شرایط سینوپتیکی این روز با استقرار یک مرکز بسته پر فشار بر روی شمال خزر مشخص می شود که زبانه های آن شمال غرب را در بر گرفته است و باد های شرق-جنوب شرقی جریان دارند (شکل ۴).
شکل ۵ که ارتفاع اندازه گیری شده توسط لیدار و خروجی مدل MMS5 را نشان می دهد از وجود یک اختلاف فاز ۲ ساعته بین این دو حکایت می کند ولی در روند های دیگر سازگاری قابل قبولی برقرار است. البته یک مساله بسیار مهم که باید مدل های پیش بینی مورد توجه قرار گیرد شرایط اقلیمی زنجان می باشد که همان واقع شدن در دامنه های البرز است و وزش بادهای دشت کوه در روز هنگام و کوه دشت در شب هنگام مطرح است که می تواند بر رشد لایه مرزی تاثیر گذار باشند.

۳-۴- بیست و پنجم آگوست ۲۰۰۶

شرایط سینوپتیکی حاکم استقرار یک سامانه پر فشار بر شمال ایران را نشان می دهد که شرایط نسبتاً پایداری را بوجود آورده است. اجرای مدل برای این روز مشابه روز قبل انجام شده است که مقایسه نتایج بدست آمده در شکل ۶ نشان داده شده است. در این روز تاخیر در پیشینه ارتفاع لایه مرزی تقریباً وجود ندارد و فقط اختلاف ارتفاع حدوداً ۴۰۰ متری بین این دو روش مطرح است که علاوه بر تاثیرات دیفیوژن در مورد اثر شار گرمای سطح در رشد لایه آمیخته هم می توان صحبت کرد. مشابه این نتیجه توسط پینو و همکارانش^۲ (۲۰۰۴) برای روز هفدهم ماه جولای ۲۰۰۰ در منطقه بارسلون به دست آمد، که در شکل ۷ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می شود، مدل رشد معمول عمق لایه مرزی (Z_i) برای روزهای تابستانی بعلاوه عمق لایه مرزی شبیه سازی شده را در توافق با نتایج مشاهدات لیدار نشان می دهد.
برای اعتبار سنجی خروجی های حاصل از مدل عددی با اندازه گیری های مشاهداتی لیدار لازم است رگرسیون خطی آنها بررسی شود که در شکل ۸ سازگاری نسبتاً خوبی بین اندازه گیری های لیدار و خروجی ارتفاع لایه مرزی MMS5 دیده می شود، به طوری که وجود اختلاف و پراکندگی را به صبح و همخوانی ها را می توان به ظهر و حوالی آن نسبت داد.

۴-۴ - نتیجه گیری

از مقایسه ارتفاع لایه مرزی اندازه گیری شده مبتنی بر تغییرات قائم ایروسلها توسط لیدار مرکز تحصیلات تکمیلی زنجان با خروجی های پیش بینی شده ارتفاع لایه مرزی مدل عددی MMS5 برای ۳ روز مختلف در می یابیم که مدل MMS5 ارتفاع لایه مرزی را کمتر از حالت واقعی (مشاهدات لیداری) پیش بینی می کند، همانطور که ملاحظه می شود، مدل رشد معمول Z_i در منطقه را نشان می دهد. از جمله عواملی که می توانند بر رشد لایه

¹ Hiroaki et al.

² Pino et al.

آمیخته در منطقه زنجان تاثیر گذار باشد بادهای کوه-دشت و دشت - کوه هستند. این پدیده یکی از مهمترین پدیده هایی که در منطقه اتفاق می افتد این پدیده نقش بارزی در روزهای تابستان برای پاک کردن آلودگی ها از منطقه مورد نظر و فرارفت دادن آنها به مناطق اطراف را دارد و می تواند رشد لایه مرزی را تغییر دهند. از این رو لازم است که مدل این دو پدیده را بطور صحیح شبیه سازی کند. بنا بر این فرایندهای مربوط به شارهای سطحی احتمالا به طور دقیقی در مدل MMS، با توجه به اینکه مدل اطلاعات سطح را از یک بانک اطلاعاتی (Land use) با قدرت تفکیک بالا نمی گیرد، لحاظ نمی شود. این نیز تواند، قسمتی از عدم تطابق بالای مشاهدات و مدل سازی باشد.

در ادامه کار این مقاله، و جهت دستیابی به نتایج بهتر و اعتبار سنجی دقیق تر مدل عددی در زمینه محاسبه عمق لایه مرزی، لازم است از اندازه گیری های متحرک (لیدار متحرک) برای کلان شهرهای صنعتی و آلوده استفاده شود، همچنین نتایج به دست آمده بهتر است با دیگر دستگاه های اندازه گیری از قبیل راديو سوند و برج های هواشناسی نیز مقایسه شوند. علاوه بر این، استفاده از بانک اطلاعات محلی Land-Use دقیق برای مدل می تواند به استحصال نتایج دقیق تری منجر شود.

قدردانی

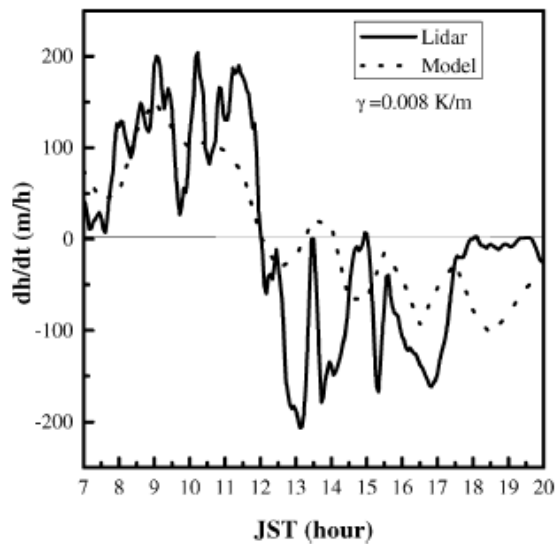
لازم است از مرکز پیش بینی سازمان هواشناسی کشور و آقای دکتر خالصی فر و آقای مهندس عبدی از مرکز تحصیلات تکمیلی زنجان، جهت همکاری های بی دریغ در انجام این پژوهش سپاسگزاری شود.

مراجع

- 1-Flamant, C. & P. Flamant, 1997 : Lidar determination of the entrainment zone thickness at the top of the unstable marine atmospheric boundary layer, *Boundary Layer Meteorology*, 83,247-284 pp
- 2- Flamant, P. H., 2005 : Atmospheric and meteorological lidar :from pioneers to space applications , *C.R.Physique* 6(2005). 864-875 pp.
- 3- He, Q. S. & J.T. Mao , 2005: Observational and modeling studies of urban atmospheric boundary layer height and its evolution mechanisms ,*Atmos. Env.*,1064 pp(2006)
- 4-Pino, d. & v. Arellano, 2004: The Boundary Layer Growth in an Urban Area, *Science of the Total Environment*,334 pp.
- 5- Stull, R. B., 1988 : An Introduction to Boundary Layer Meteorology
- 6-Tomasi, D. & M. Perrone, 2005: PBL and dust layer evolution by lidar and radiosounding measurement over peninsular site, *Atmospheric Research*
- 7- Weibiao, C. & H. Kuze, 2000 : One-year observation of urban mixed layer characteristics at Tsukuba ,Japan using a micro pulse lidar, *Atmos. Env.* 35(2001),4273-4280 pp.

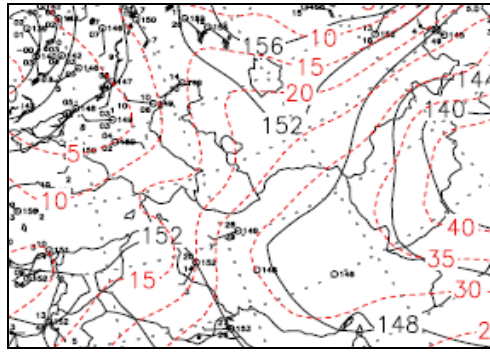
جدول (۱) مشخصات دستگاه لیدار

Main features of the LIDAR	
Transmitter	
wave length	532nm, 1064 nm
output energy	40 mj
pulse duration	5 nsec
repetition rate	up to 20 Hz
Reciever	
Telescope	newiotonian
main mirror diameter	25 cm
equivalent focal length	1 m
optical band width	1 nm
	PMT 532nm
photo detector	
	APD1064nm
Data acquisition and processing	
A/D converter	GPIB card
time resolution	1 micsec
spatial resolution	50 m
data storage and processing	PC.lab view.matlab

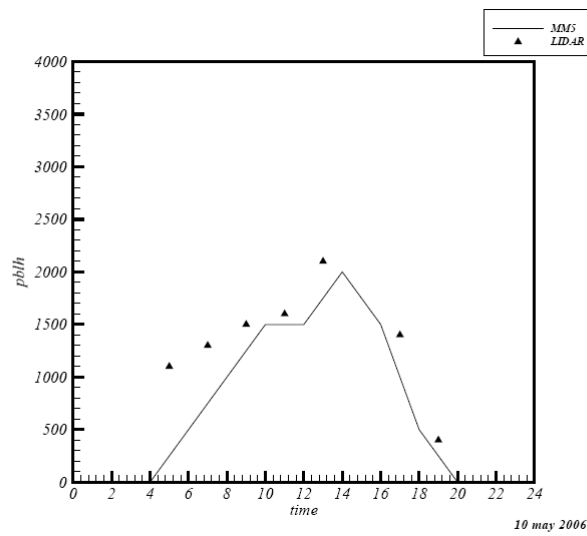


شکل (۱) نرخ رشد لایه آمیخته، اندازه گیری شده توسط لیدار (خط) و محاسبه شده توسط مدل (نقطه چین)

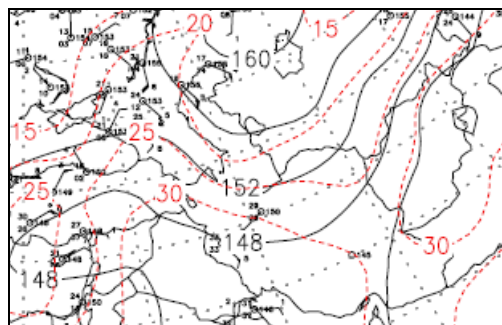
همایش پیش بینی عددی وضع هوا، ۲۹ آذر ۱۳۸۵
 پژوهشکده هواشناسی - گروه پژوهشی هواشناسی دینامیکی و همدیدی



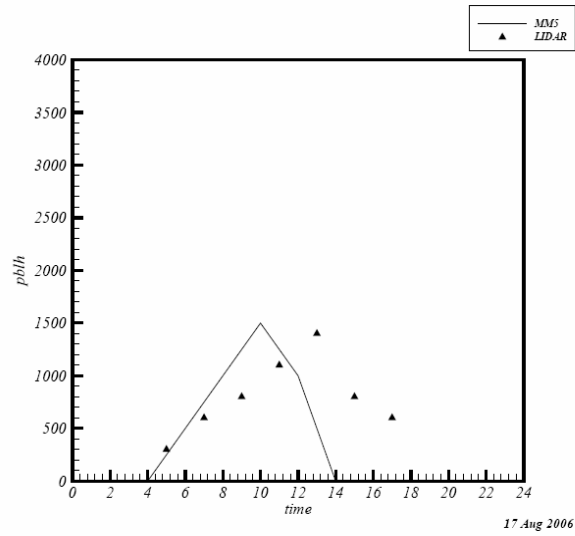
شکل ۲- شرایط سینوپتیکی ۱۰ می ۲۰۰۶



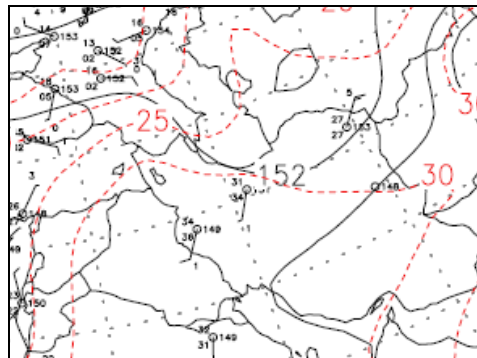
شکل ۳- عمق لایه مرزی برای این روز ۱۰ می ۲۰۰۶ مدل مقادیر اندازگیری توسط لیدار نشان داده شده است



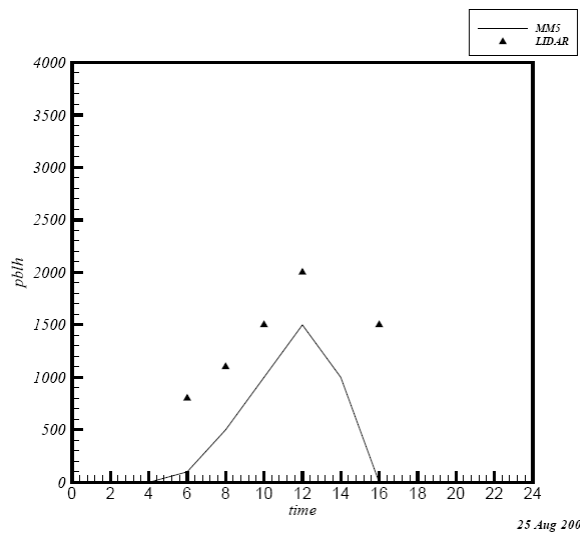
شکل ۴- شرایط سینوپتیکی ۱۷ اگوست ۲۰۰۶



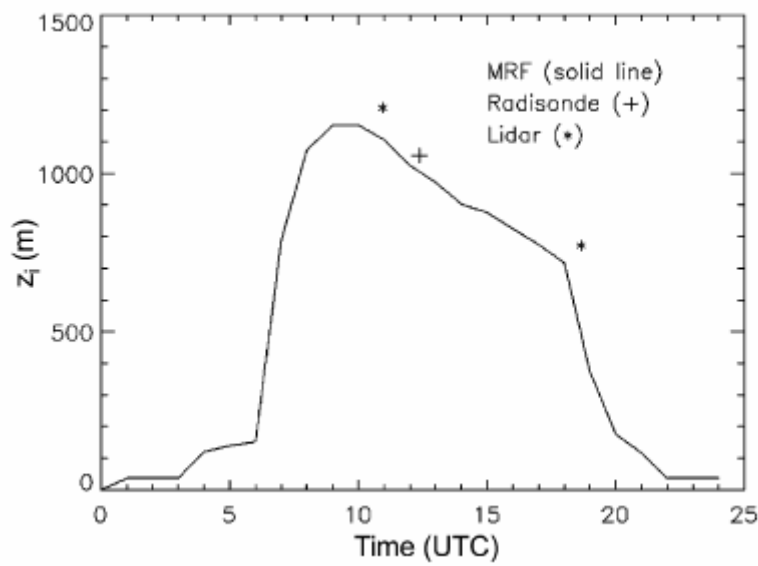
شکل ۵- عمق لایه مرزی برای این روز ۱۷ آگوست ۲۰۰۶ مدل و مقادیر اندازه گیری توسط لیدار نشان داده شده است



شکل ۶- شرایط سینوپتیکی ۲۵ آگوست ۲۰۰۶

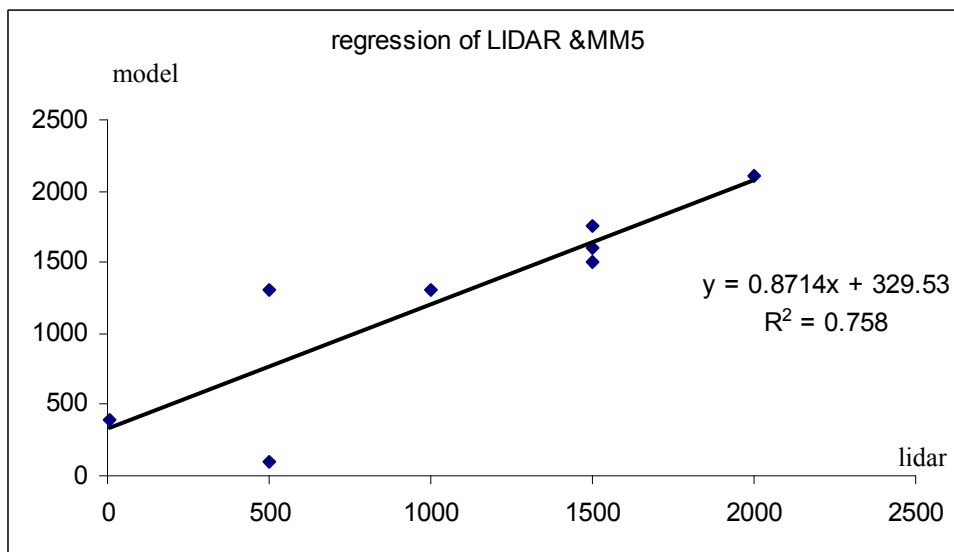


شکل ۷- عمق لایه مرزی برای این روز ۲۵ آگوست ۲۰۰۶ مدل و مقادیر اندازه گیری توسط لیدار نشان داده شده است



شکل ۸- عمق لایه مرزی برای روز ۱۷ جولای ۲۰۰۰ مشاهده توسط لیدار (*), توسط رادیوسند (+) و محاسبه شده

توسط مدل (خط پیوسته) (پینو و همکاران و ۲۰۰۴)



شکل ۹- رابطه ارتفاع به دست آمده توسط لیدار و مدل. سازگاری خوبی بین اندازه گیری های لیدار و خروجی

ارتفاع لایه مرزی MM5