

تعیین هندسه قبل از لغزش در زمین لغزش‌ها با نگرشی به زمین لغزش محمدآباد جیرفت

مهدی محمدی (کارشناس ارشد)

حسین توکلی (استادیار)

دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

یکی از بحرانی‌ترین مراحل تحلیل پایداری شیروانی‌ها، تعیین یا ارزیابی پارامترهای مقاومت برشی بسمیچ شده در لحظه شکست است. انتظار می‌رود در امتداد سطح گسیختگی، پارامترهای تنش برشی نسبت به پارامترهای مقاومت برشی بیشتر باشد. برای تعیین پارامترهای مقاومت برشی بسمیچ شده در یک شیروانی لغزش‌یافته، به هندسه قبل از لغزش نیاز است. با داشتن هندسه قبل از لغزش می‌توان پارامترهای مقاومت برشی در آستانه لغزش را به شیوه آنالیز برگشتی تعیین کرد و وضعیت فعلی شیروانی را مورد بررسی قرار داد. همچنین با استفاده از نتایج می‌توان دیگر شیروانی‌های منطقه را مورد ارزیابی قرار داد. در این نوشتار برای تعیین هندسه قبل از لغزش، با داشتن هندسه بعد از لغزش و همچنین نقاط نظیر به نظیر لغزش‌یافته، از توابع برگشت‌پذیر نمایی استفاده شده و هندسه قبل از لغزش با نرم‌افزار Surfer8 شبیه‌سازی شده است.

واژگان کلیدی: زمین لغزش، توپوگرافی قبل از لغزش، آنالیز برگشتی، توابع برگشت‌پذیر، Surfer8.

mohammadi4732@yahoo.com
tavakoli@mail.uk.ac.ir

۱. مقدمه

تعیین پارامترهای ژئوتکنیکی توده خاک‌های لغزش‌یافته در آزمایشگاه به علت عدم قطعیت و مشکلات ذاتی در شبیه‌سازی صحرایی با مشکلاتی همراه است. از این دیدگاه، استفاده از نتایج تحلیل برگشتی در رفتار شیروانی اطلاعات با ارزشی را در اختیار محقق قرار می‌دهد. تحلیل برگشتی شیوه‌ی مفید برای توسعه مدل تحلیلی شیب لغزش‌یافته است. این مدل شامل مؤلفه‌های هندسه قبل از لغزش، بارهای اعمالی، شرایط آب زیرزمینی، وزن مخصوص و مقاومت مواد در طول سطح لغزش است.^[۱] از این رو همواره محققان به دنبال راه حلی برای تهیه توپوگرافی قبل از لغزش بوده‌اند. هدف از این مطالعه تهیه توپوگرافی قبل از لغزش با توجه به توابع برگشت‌پذیر است. لازم به ذکر است که روابط به دست آمده فقط برای لغزش منطقه محمدآباد مورد استفاده قرار گرفته و برای سایر لغزش‌ها قابل استفاده نیستند.

۲. مشخصات و هندسه زمین لغزش

زمین لغزش محمدآباد جیرفت در استان کرمان در سال ۱۳۷۸ به وقوع پیوست. در اثر وقوع این رانش قسمتی از محور ارتباطی کرمان-جیرفت تخریب شد و خساراتی بر جای گذاشت. زمین لغزش مورد بررسی در محمدآباد، متعلق به بخش جبال‌بارز از شهرستان جیرفت در استان کرمان و در کیلومتر ۱۲ محور ارتباطی کرمان-جیرفت که قدمتی ۳۰ ساله دارد اتفاق افتاده است. بخش جبال‌بارز با طولی حدود ۲۵ کیلومتر به بلاتاقی جازموریان ختم می‌شود. منطقه جبال‌بارز از نقطه نظر زمین‌شناسی در

وسعت لغزش منطقه محمدآباد بیش از ۲۵ هزار متر مربع است. طول توده لغزش ۲۲۰ متر و عرض لغزش در تاج ۵۰ متر و در قسمت میانی حدود ۱۱۴ متر و در پائین حدود ۶۰ متر است؛ ارتفاع پرتگاه اصلی نیز حدود ۱۱ متر است. شکل ۱ نمای کلی زمین لغزش، و شکل ۲ قسمتی از پرتگاه اصلی را که دارای ارتفاع ۴ تا

۶ متر است نشان می‌دهد. امتداد دیواره‌ی پرتگاه تقریباً شمال شرقی-جنوب غربی است. منطقه به‌روش تاکومتری نقشه‌برداری شده است. [۵] شکل ۳ توپوگرافی منطقه و شکل ۴ مدل شبیه‌سازی شده‌ی زمین لغزش را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که برای تعیین مختصات از روش UTM استفاده شده است.

۳. تعیین هندسه قبل از لغزش

برای آن که بتوان تحلیلی دقیق بر روی یک شیروانی لغزش یافته با زمین لغزش داشت بایستی توپوگرافی قبل از لغزش را به دست آورد تا بتوان پارامترهای برشی بسیج شده در هنگام لغزش را تعیین کرد.

۱.۳. روش کار

سطح لغزش در منطقه رخنمون نسبتاً وسیعی دارد که به‌دقت نقشه‌برداری شده است (شکل ۴). چنان که در این شکل مشاهده می‌شود، بقایای جاده‌ی قبلی که در اثر لغزش به طرف پایین دره رانده شده است نیز موجود است؛ بنابراین جابه‌جایی‌ها در پایین دست و بالادست مشخص‌اند و کاملاً واضح است که نقاط بالا و پایین رخنمون سطح لغزش در پرتگاه و همچنین لبه‌های جاده‌ی فعلی و جاده‌ی رانده‌شده قبل از لغزش کاملاً بر هم منطبق بوده‌اند. به عبارت دیگر اگر نقطه‌ی در بالای سطح لغزش در نظر گرفته شود، با توجه به جهت حرکت توده (که عمود بر امتداد سطح لغزش است) می‌توان محلی را که هم‌اکنون نظیر این نقطه است پیدا کرد. به عنوان مثال در شکل ۵ حرکت توده از نقطه‌ی a آغاز شده است و در جهت خط ab امتداد یافته تا به نقطه‌ی b رسیده است. در این شکل، جابه‌جایی توده در راستای لغزش با بردار M مشخص شده است.

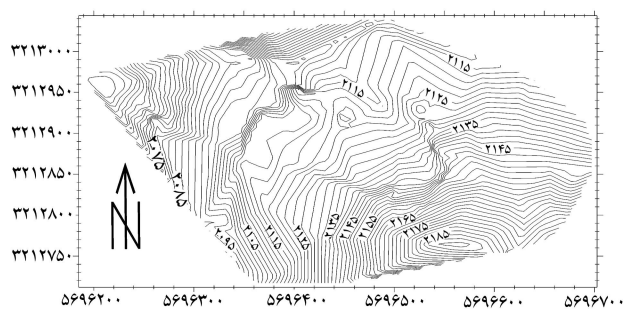
حرکت توده در قسمت‌های مختلف این شکل یکسان نیست، به طوری که افت ارتفاع نقاط در پهلوئی چپ توده‌ی لغزشی بیش از پهلوئی راست آن است (به علت وجود تپه‌ی مقابل پهلوئی راست که موجب کم‌تر شدن حرکت آن شده است). در نتیجه برای برگشت متناسب جابه‌جایی‌های هر نقطه با توجه به موقعیت آن، توده‌ی لغزشی به دو قسمت راست (R) و چپ (L) تقسیم شد تا محاسبات برای هر قسمت به صورت مجزا انجام شود. با توجه به بردار M که جهت لغزش را نشان می‌دهد، بردار جابه‌جایی‌ها را باید در جهت سه مؤلفه‌ی X ، Y و Z به دست آورد، تا بخش‌های مختلف توده به سمت بالا برگشت داده شود. بدین منظور انتهای بردار در جایی قرار می‌گیرد که لغزش از آن قسمت شروع شده است. به عبارت دیگر، انتهای بردار در تاج دیواره‌ی پرتگاه قرار می‌گیرد تا کلیه‌ی تغییرات براساس آن سنجیده شود. با توجه به توضیحات یادشده، می‌توان نقاط نظیر به نظیر را نسبت به بردار M انتخاب کرد. برای این منظور، چنانچه از روی سطحی که لغزش شروع شده در جهت موازی بردار M حرکت صورت گیرد تا به سطحی که لغزش اتفاق افتاده برسیم می‌توان نقاط نظیر به نظیر را مشخص کرد، و تغییرات این نقاط جابه‌جا شده نسبت به بردار M را سنجید. به عنوان مثال، چنان‌که ذکر شد اگر از نقطه‌ی a در جهت بردار M حرکت کنیم به نقطه‌ی b می‌رسیم. خط $a-b$ دو نقطه‌ی نظیر به نظیر در سمت چپ توده



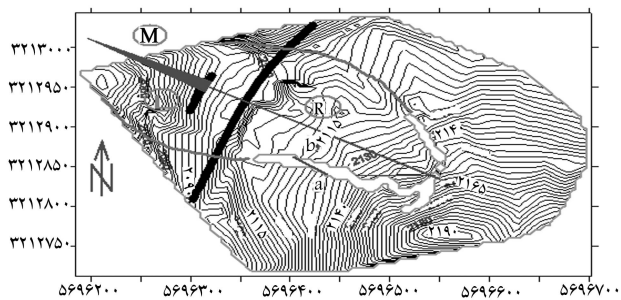
شکل ۱. نمای کلی زمین لغزش. [۳]



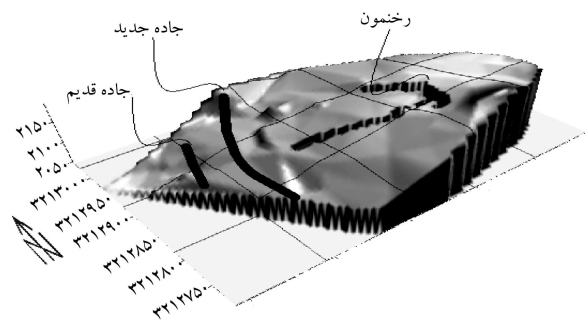
شکل ۲. قسمتی از پرتگاه اصلی. [۳]



شکل ۳. توپوگرافی منطقه‌ی لغزش یافته. [۳]



شکل ۵. تقسیم شدن منطقه به دو قسمت.



شکل ۴. مدل شبیه‌سازی شده از زمین لغزش اتفاق افتاده. [۳]

راستا مشخص باشد. چنان که در شکل ۵ نیز نشان داده شده، اگر در جهت MZ بر روی توده مقطع زده شود حرکت توده‌ی لغزش یافته به صورت منحنی غیردایره‌یی است و حرکت رویه نیز متأثر از سطح لغزش است؛ و اگر بردار M در صفحه‌ی X, Y تصویر شود مشخص است که لغزش توده به صورت منحنی است. ابعاد رخنمون نیز گویای همین مسئله است، و بنابراین با توجه به منحنی بودن لغزش در صفحه‌ی X, Y و در جهت MZ از تابع نمایی استفاده شد. نتایج رگرسیون نمایی و همچنین ضرایب ثابت در شکل ۶ برای ناحیه‌ی راست و در شکل ۷ برای ناحیه‌ی چپ را نشان می‌دهد.

حال با توجه به روابط ۳ تا ۵ می‌توان تغییرات نقاط نقشه برداری شده در روی توده‌ی لغزش یافته برای ناحیه‌ی راست، و روابط ۶ تا ۸ برای ناحیه‌ی چپ را با توجه به بردار M به دست آورد.

$$\Delta X_N = 3,04 * e^{,24M} \quad (3)$$

$$\Delta Y_N = 2,45 * e^{,25M} \quad (4)$$

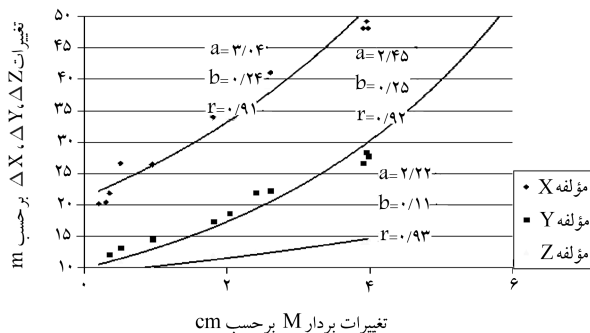
$$\Delta Z_N = 2,22 * e^{,11M} \quad (5)$$

$$\Delta X_N = 2,47 * e^{,305M} \quad (6)$$

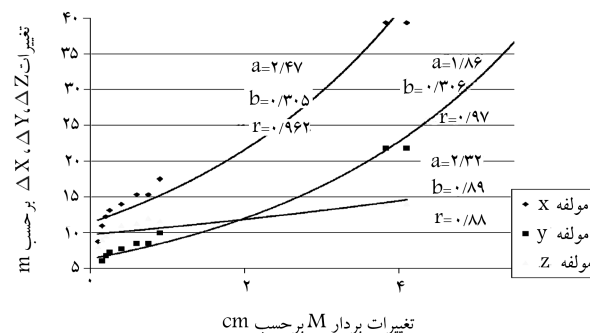
$$\Delta Y_N = 1,86 * e^{,306M} \quad (7)$$

$$\Delta Z_N = 2,32 * e^{,89M} \quad (8)$$

نرم افزار Surfer8 این توانایی را دارد که مختصات نقاطی نقشه برداری شده را به کار برارانه دهد و همچنین کاربر می‌تواند نقاطی را که از هر ایستگاه برداشت می‌کند، با علائم خاصی نشان‌گذاری کند. [۷] شکل ۸ نقاط نقشه برداری را نشان می‌دهد. برای تعیین مختصات هر نقطه، از آن نقطه عمودی بر بردار M ترسیم و در ادامه از این عمود فاصله‌ی هر نقطه تا انتهای بردار را در راستای لغزش برحسب سانتی‌متر



شکل ۶. تغییرات بردار M برای ناحیه راست.



شکل ۷. تغییرات بردار M برای ناحیه چپ.

را نشان می‌دهد، حال تغییرات آن را می‌توان نسبت به بردار M از انتهای بردار که بر روی تاج قرار دارد تا عمود بر نقطه‌ی b اندازه گرفت.

پس از آن که نقاط نظیر به نظیر مشخص شد حال باید بتوان مقدار جابه‌جایی را در سه راستای X, Y و Z نسبت به بردار M به دست آورد. با توجه به بردار M که در فضا قرار دارد بایستی دو زاویه بین بردارهای X, Y و Z معلوم باشد تا بتوان بردار M را تجزیه کرد. برای دو مؤلفه‌ی X و Y اگر بردار M در صفحه‌ی X, Y تصویر شود، مشاهده می‌شود که با محور X زاویه‌ی 29° درجه ساخته است. اگر تغییرات (طول a, b) در راستای لغزش و در صفحه X, Y را α بنامیم می‌توانیم طبق رابطه‌های ۱ و ۲ تغییرات را به دو مؤلفه‌ی X و Y تجزیه کنیم.

$$X_i = \alpha_i \cos 29 \quad (1)$$

$$Y_i = \alpha_i \sin 29 \quad (2)$$

به منظور تعیین تغییرات در راستای مؤلفه‌ی Z نیاز به زاویه‌ی دوم است. با توجه به این که این زاویه را نمی‌توان تعیین کرد بدین منظور مؤلفه‌ی Z را با شمردن منحنی‌های تراز توپوگرافی مابین دو نقطه‌ی متناظر در راستای لغزش می‌توان به دست آورد (شکل ۵).

در مجموع تغییرات ۲۴ نقطه تعیین شد که ۱۱ نقطه‌ی آن مربوط به ناحیه‌ی راست (R) و ۱۳ نقطه مربوط به ناحیه‌ی چپ (L) است. از این تعداد، ۶ نقطه مربوط به جاده و مابقی مرتبط با رخنمون سطح لغزش‌اند. لازم به ذکر است که مقیاس نقشه $\frac{1}{5000}$ است. بنابراین، ابتدا تغییرات در راستای لغزش (با مقیاس ذکر شده) تبدیل به مقادیر واقعی بر روی زمین، و سپس این تغییرات به دو مؤلفه تجزیه شده است. برای مثال، چند نقطه از ناحیه‌ی راست و چپ در جدول ۱ آورده شده است. در این جدول، M (cm) فاصله از مبدا (تاج لغزش) تا عمود بر محل دو نقطه‌ی متناظر (نقطه‌ی لغزش یافته)؛ ΔM (cm) فاصله‌ی نظیر به نظیر بین دو نقطه‌ی جابه‌جا شده؛ ΔM (m) تبدیل فاصله‌ی نظیر به نظیر با مقیاس $\frac{1}{5000}$ به مقدار واقعی در روی زمین؛ ΔX (m) تجزیه‌ی ΔM (m) در جهت مؤلفه‌ی x برحسب متر؛ ΔY (m) تجزیه‌ی ΔM (m) در جهت مؤلفه‌ی y برحسب متر؛ و ΔZ (m) مقدار مؤلفه‌ی z است و از شمارش خطوط تراز توپوگرافی بین دو نقطه‌ی متناظر برحسب متر به دست می‌آید.

حال با توجه به نتایج به دست آمده -- تغییرات در راستای هر مؤلفه‌ی متناظر با M (cm) -- می‌توان از توابع برگشت پذیر روابطی به دست آورد تا براساس این روابط نقاط روی توده نیز به سمت بالا برگشت پیدا کنند. با توجه به انواع توابع برگشت پذیر (خطی، نمایی، لگاریتمی و توانی) و ضریب همبستگی هر کدام از توابع [۶]، توابع خطی و نمایی نزدیک‌ترین ضریب همبستگی نسبت به یک را داشتند. برای آن که بتوان از بهترین نوع توابع برگشت پذیر استفاده کرد، بایستی شکل حرکت توده در هر

جدول ۱. نمونه‌یی از نقاط برداشت شده از روی نقشه توپوگرافی.

ΔZ (m)	ΔY (m)	ΔX (m)	ΔM (m)	ΔM (cm)	M (cm)	
۸	۴,۸۵	۸,۷۴	۱۰	۰,۲	۰,۱	R_1
۹	۶,۷۸	۱۲,۲۴	۱۴	۰,۲۸	۰,۲	R_2
۱۱	۷,۷۵	۱۳,۹۹	۱۶	۰,۳۲	۰,۴	R_3
۱۰	۷,۲۷	۱۳,۱۱	۱۵	۰,۳	۰,۲	L_1
۱۱	۹,۶۹	۱۷,۴۹	۲۰	۰,۴	۰,۳	L_2

نقطه با توجه به روابط ۱۰ تا ۱۱ محاسبه می‌شود.

$$X_{new} = X + \Delta X_N \quad (9)$$

$$Y_{new} = Y - \Delta Y_N \quad (10)$$

$$Z_{new} = Z + \Delta Z_N \quad (11)$$

که در آنها X, Y, Z مختصات نقاط نقشه برداری شده از هندسه قبل از لغزش اند. $X_{new}, Y_{new}, Z_{new}$ نیز مختصات نقاط قبل از لغزش (مدل سازی شده) هستند. برای ترسیم نقشه توپوگرافی قبل از لغزش، مختصات نقاط مزبور یعنی نقاطی که در محدوده لغزش واقع شده‌اند (شکل ۸) را حذف و به جای آنها مختصات جدید جایگزین می‌شود. پس از اضافه کردن نقاط، توپوگرافی قبل از لغزش ترسیم می‌شود. شکل ۹ توپوگرافی قبل از لغزش و شکل ۱۰ نیز مدل شبیه سازی شده منطقه قبل از لغزش را نشان می‌دهد.

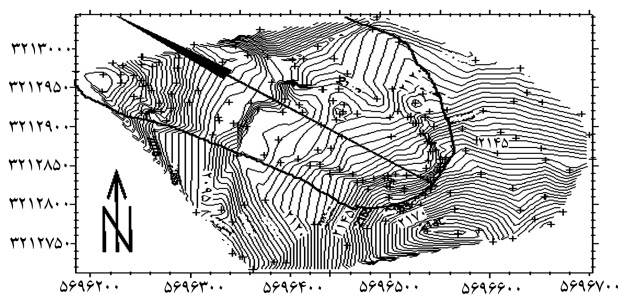
۵. نتیجه گیری

برای تعیین پارامترهای بسیج شده در هنگام لغزش، هندسه قبل از لغزش در یک شیروانی لغزش یافته مورد نیاز است. برای تعیین هندسه قبل از لغزش در صورتی که نقاط جابه جا شده در تاج و پاشنه لغزش وجود داشته باشند می‌توان با توجه به توابع برگشت پذیر روابطی برای برگشت دادن نقاط به مکان اولیه به دست آورد. اگرچه ممکن است روش مذکور خطاهایی داشته باشد، با توجه به عدم قطعیت می‌توان پارامترهای برشی در هنگام لغزش را تخمین زد. در روش‌های قبل برای تحلیل، با روش‌های مختلفی مثل بازدید صحرایی، ارتباط بین افراز بالایی و میزان جابه جایی یک مقطع از هندسه قبل از لغزش تعیین می‌شود اما در این روش -- با توجه به این که تعیین هندسه قبل از لغزش مد نظر است -- با مقطع زنی بر روی هندسه قبل از لغزش و هندسه بعد از لغزش و هم پوشانی این دو مقطع بر روی یکدیگر می‌توان بحرانی ترین مقطع را از لحاظ تغییر شکل بین دو مقطع قبل از لغزش و مقطع بعد از لغزش انتخاب کرد. همچنین برای صحت نتایج به دست آمده از تحلیل برگشتی می‌توان این نتایج را بر روی مقاطع دیگر (از هندسه قبل از لغزش و بعد از لغزش) بررسی کرد.

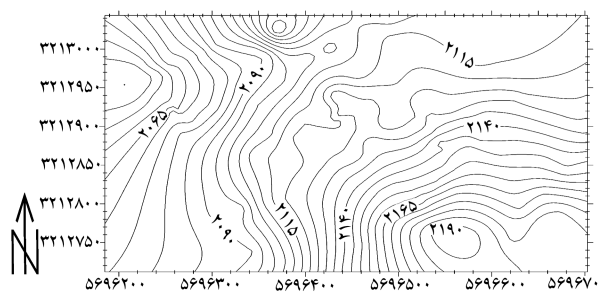
لازم به ذکر است که روابط به دست آمده فقط برای لغزش محمدآباد مورد استفاده قرار گرفته و برای سایر لغزش‌ها مستند نیستند. بدیهی است روش معرفی شده در این نوشتار را می‌توان برای استخراج روابط مورد نیاز برای بازسازی توپوگرافی هر لغزش دیگری به کار گرفت.

منابع

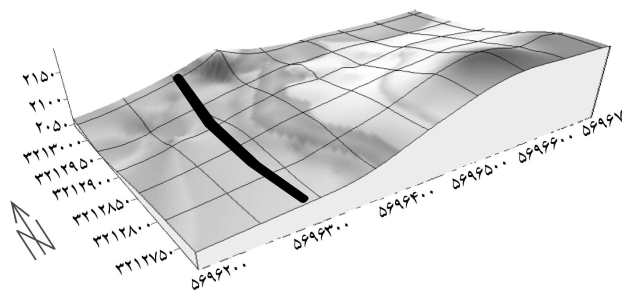
1. Bromhead, E.N., *The Stability of Slopes*. Second Edition. Chapman & Hall, London, (1994).
2. Sakurai, S. "Back analysis in rock engineering", In proc. Comprehensive rock engineering, John A. Hudson, Ed., 4, chap 19, Pergamon Press, London, pp. 453-569, (1993).
3. Mesgari Vash, A. and Karimi Nasab, S., "Investigation of effective factors on Landslides of Mohammad Abad, Jiroft". In *proceeding of the 22nd conference of engineering geology and environment*, 12, Tarbiat Modares Uni-



شکل ۸. نقاط نقشه برداری شده.



شکل ۹. توپوگرافی قبل از لغزش.



شکل ۱۰. مدل شبیه سازی شده منطقه قبل از لغزش.

اندازه می‌گیریم، و برحسب این که نقطه‌ی مذکور در پهلو راست توده قرار دارد یا پهلو چپ، آن را در روابط ذکر شده قرار داده و مختصات نقاط تعیین می‌شود. در روابط بالا M فاصله‌ی به دست آمده تا انتهای محور برای هر نقطه است. پس از آن که تغییرات برای هر نقطه به دست آمد در نهایت مختصات جدید هر

versity of Tehran, Tehran, Iran(2008)

4. Mohammadi, M., "Analysis of soil slopes stability, a case study of Mohammad Abad Landslide-Jiroft". Thesis of M.sc., Mining engineering department of Shahid Bahonar university of Kerman, Kerman, Iran, (2006).
5. Nobakht, Sh., Topography. Science and Technology University of Tehran, Tehran, Iran, (1998).
6. Neter, J., Wasserman, W. and Whitmore, G.A., *Application Applied Statistics*. Allyn and Bacon Inc. (1998).
7. Golden Surfer, Inc. Surfer (Version 8) Users Manual. Golden Colorado 80401-1866.