طراحی بهینه برداشتهای مغناطیسی با توجه به اثر فاصله گیرنده نسبت به ساختار مدفون

غلامحسين نوروزى

دانشیار گروه مهندسی معدن – دانشکده فنی – دانشگاه تهران (تاریخ دریافت ۸۰/۷/۷، تاریخ تصویب ۸۱/۳/۴)

چکیدہ

مطالعه حاضر بدنبال مطالعات قبلی که در ارتباط با طراحی شبکه برداشت در مطالعات مغناطیسی صورت پذیرفته بود جهت نشان دادن اثر عمق دفن ساختارهای مورد تجسس در انتخاب فاصله نقاط برداشت انجام گرفته است. بدین منظور روی ساختارهای مدفون در محوطه ژئومغناطیس موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران پس از اندازه گیری میدان مغناطیسی اثر فاصله نقاط برداشت با تکیه بر مسئله آلیازینگ مورد تحلیل قرار گرفته و برای هر ساختار فاصله بهینه نقاط اندازه گیری مشخص شده است. نتایج حاصل نشان می دهد که جهت تفسیر دقیق ساختارهای مدفون از دید مطالعات مغناطیسی بایستی فاصله ۵/۰ تا ۱ متر برای ساختار ورقه ای شکل ۲/۵ متر برای ساختار گسلی و ۱ متر برای ساختار استوانه ای مدنظر قرار گیرد.

واژه های کلیدی : مغناطیس، آلیازینگ ، توان طیف، توان آلیاز شده، ساختارهای مدفون، نقاط برداشت

مقدمه

پیش از این باتوجه به ساختارهای مدفون در محوطه ژئومغناطیس موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران طراحی بهینه برداشتهای مغناطیسی در ارتباط با اثر تغییرات فاصله شبکه برداشت مربعی بدون توجه به عمق دفن ساختارها مورد بحث قرارگرفته است [۱]. در نوشته حاضر با توجه به عمق دفن ساختارها اثر تغییر فاصله ایستگاههای اندازه گیری بر شکل تغییرات بیهنجاریهای مغناطیسی مورد بررسی قرار میگیرد. بدین منظور از مسئله آلیازینگ استفاده شده که در ان با توجه به فرم طیفی میدان بیهنجاری مغناطیسی و از طریق به حداقل رساندن توان آلیازشده فاصله بهینه نقاط برداشت در ارتباط با فاصله گیرنده دستگاه نسبت به ساختار مدفون بررسی شده است.

رابطه طیفی میدان مغناطیسی برحسب لایه معادل

در فرهنگ مطالعات مغناطیسی هر توزیع
مغناطیدگی (x,y,z) قابل جایگزین شدن توسط یک
توزیع مغناطیدگی صفحه ای مانند (m_s(x,y,z) (عمق
دفن لایه معادل :) می باشد.
رابطه پتانسیل مغناطیسی مربوط به توزیع صفحه ای
عبارتست از :
$$U_{m(x,y,h)} = \partial / \partial k \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} ms(\alpha, \beta, d) / [(x - \alpha)^2 + (y - \beta)^2 + (d - h)^2]^{\frac{1}{2}} d\alpha d\beta$$

با استفاده از رابطه فوق رابطه طیفی میدان مغناطیسی
مربوط به لایه های معادل برابر خواهد بود با [۲] :
 $Mf(u,v,d) = 2\pi [iLu + iMv + N(u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}}]$
[$ilu + imv + n(u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}} lms(u, v, d)$ exp

 $[ilu + imv + n(u^{2} + v^{2})^{1/2}]ms(u, v, d) \exp [-(d - h)(u^{2} + v^{2})^{1/2}]/(u^{2} + v^{2})^{1/2}]$ (1)

. عدد موهومی : i نشریه دانشکده فنی، جلد ۳۶، شماره ۳، آذرماه ۱۳۸۱

برای یک برداشت مغناطیسی با فاصله ایستگاهی Δx طول موج نا یکیست (λ_N) برابر است با : $\lambda_N = 2\Delta x$ بدین ترتیب عدد موجی نایکیست (*r*_N) از رابطه بدست می آید. با جایگزین $r_N = 2\pi / \lambda_N = \pi / \Delta x$ کردن مقدار r_N در رابطه (۵) توان آلیاز شده بصورت زیر در می آید : $F_M = \left[2(\pi d / \Delta x)^2 + 2\pi d / \Delta x + 1\right] \exp(-2\pi d / \Delta x)$ بدین ترتیب می توان تغییرات درصد توان آلیاز شده را بر حسب نسبت $d/\Delta x$ یعنی فاصله ساختا ر مغناطیسی تا گیرنده دستگاه به فاصله ایستگاههای شبکه برداشت بدست آورد (شكل ۱) . همانطور که در شکل دیده می شود با افزایش فاصله ایستگاههای اندازه گیری توان آلیاز شده بصورت نمایی افزایش می یا بد که نتیجه آن بدست آمدن بی هنجا ریهای مغناطیسی با توان آلیاز شده زیاد و در نتیجه تفسير نادرست آنهاست .

 $d/\Delta x$ شکل ۱: تغییرات درصد توان آلیاژ شده برحسب

طراحی برداشتهای مغناطیسی با توجه به فاصله نقاط برداشت و عمق دفن ساختارها

جهت بررسی عملی ارتباط فاصله ایستگاههای اندازه گیری و عمق دفن ساختارهای مغناطیسی از ساختارها ی آهنی که در محوطه ژئومغناطیس مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران دفن گردیده استفا ده شده است[1]. مشخصات و عمق دفن ساختارها در جدول (۱) داده شده است (شکل ۲).

توان طيف و توان ألياز شده در صورتیکه صفحه برداشت بعنوان مبنا در نظر گرفته شود (h=۰) ، رابطه (۱) به شکل زیر در می آید : $Mf(u, v, d) = 2\pi(iLu + iMv + Nr)$ $(ilu + imv + nr)m_s(u, v, d)[\exp(-d.r)]/r$ که در آن (r) عدد موجی وبرابر $u^2 + v^2 / u^2$) می باشد.جهت سا ده تر شدن رابطه فوق میدان مغنا طیسی انتقال یافته به قطب را بدست می آوریم. در اینحا و $N=n=l=m=l=M=L=\cdot$ بنا براین میدان در قطب برابر است با : $Mf(u,v,d) = 2\pi m_s(u,v)r\exp(-d.r)$ (٢) توان طيف (E(r) که اولين بار توسط با تا چاريا⁽ داده شده است در مختصات عدد موجی برابر توان دوم رابطه (۲) است : $E(r) = 4\pi^2 m_s^2 (u.v) r^2 \exp(-2d.r)$ (٣) قسمتی از توان که آلیا ز می شود مطابق رابطه زیر تعریف می شود [۳] : $F_M = \left[\int_{r_N}^{\infty} E(r)dr\right] \div \left[\int_0^{\infty} E(r)dr\right]$ (۴) $2\pi/\lambda_N$ عدد موجی نا یکیست و برابر r_N که در آن می با شد (λ_N) عبا رتست از طول موج نا یکیست) . انتگرال E(r)dr در رابطه (۴) بیانگر تمامی طول موجها در تابع طيف است و انتگرال E(r)dr بيانگر طول موجهای کمتر از طول موج نایکیست است که در طول موجها ی بزرگتر آلیا ز می شود. مقدار توان آلیاز شده برای را بطه (۳) با توجه به را بطه (۴) عبا رتست از: $F_M = [2(d.r_N)^2 + 2d.r_N + 1]\exp(-2d.r_N)$ (۵)

طراحی شبکه برداشت مغناطیسی با توجه به توان آلیاز شده

اندازه گیریهای میدان مغناطیسی

اندازه گیریها روی پروفیلهای عمود بر امتداد ساختارها توسط یک مگنتومتر پروتون صورت گرفته

است. فاصله سنسور دستگاه تا سطح زمین برابر ۲/۵ متر می باشد. تغییرات روزانه میدان مغناطیسی زمین با استفاده از تکرار اندازه گیری در یک ایستگاه مبنا کنترل شده است.

ساختارها.	دفن	وعمق	مشخصات	: 1	جدول ا
-----------	-----	------	--------	-----	--------

عمق دفن (متر)	ضخامت (میلیمتر)	پهنا يا قطر (متر)	درازا (متر)	ساختارها
١	حدود ۱۰	۱/۵	۶	ورقه (لايه اي)
۰/۷۵ (مرکز گسل)	حدود ۱۰	۱/۵	١٢	گسلی (جابجائ قائم)
۷۵/۰ (محور استوانه)	حدود ۵	•/۵	۵/۵	استوانه ای

شکل ۲ : نقشه محوطه مورد مطالعه و موقعیت ساختارهای دفن شده. جدول ۲: نتایج حاصل برای ساختار ورقه ای شکل.

Archive of SID

فاصله ایستگاهها (متر)	اختلاف فاصله	فاصله ورقه از	خطای ارزیابی مقدار	توان آلياز شده (٪)
(Δx)	مركز ورقه از مقدار	گیرنده دستگاه	(
	حاصل از منحنی	(Z) متر		
	(متر)			
•/۵	١	۲/۵۶	۲۷	۸≈۱ ۰ ^{−۱۵}
١	١	٨/۶۴	141	۲/۴*۱۰ ^{-۶}
١/۵	٩/١۵	٩/٣٨	١۶٨	۵/۲ ۸ ※۱・× ^{-۳}
٢	٩/٩ ١	۹/۴۵	١٧٠	٠/١٢
۲/۵	٩/٢۵	٩/٣٠	188	٠/٧٣
٣	٩/٢۵	٩/۴٨	۱۲۰	۲/۳

نشریه دانشکده فنی، جلد ۳۶، شماره ۳، آذرماه ۱۳۸۱

فاصله ایستگاههای اندازه گیری ۰/۵ متر در نظر گرفته شده وتغییرات بیهنجاری مغناطیسی در بالای هر ساختار برای فواصل مختلف فاصله اندازه گیری رسم شده است.

الف- منحنیهای تغییرات بیهنجاری مغناطیسی ساختار ورقه ای و محاسبه توان آلیاز شده

در روی یک پروفیل شمالی – جنوبی (عمود بر امتداد ورقه) پس از اندازه گیری میدان مغناطیسی در نقاطی به فاصله ۵/۰ متر (این فاصله در محدوده ورقه به ۰/۲۵ متر کاهش یافته است) منحنی تغییرات میدان مغناطیسی برای فاصله های ایستگاهی ۵/۰ تا ۳ متر با بازه ۸/۰ متر رسم شده است (شکل۳: منحنیهای ۱–۱تا ۱–۶). جهت مقایسه منحنیها ونتایج حاصل از آن علاوه بر مقایسه کیفی شکلها از روش پاراسنیس [۴] برای تعیین مرکز (X) وعمق دفن ورقه استفاده شده است .

نتایج حاصل و مقدار درصد توان آلیاز شده در جدول (۲) داده شده است.

از نظر کیفی شکل منحنیها به ازای فاصله های مختلف ایستگاههای برداشت دارای یک مینیمم ویک ماکزیمم هستند که بیانگر بازتاب اثر ورقه بصورت دو قطبی است. این منحنیها از نظر شکل ظاهری برای فاصله های ۰/۵ ، ۱ و ۱/۵ متر بسیار شبیه هم هستند بطوریکه تشخیص اثر آلیازینگ بصورت کیفی به سختی امکان پذیر میباشد. این

مسئله با توجه به اینکه در صد توان آلیاز شده برای این فواصل بسیار کوچک میباشد توجیه پذیر است.

از دید تفسیر کمی یا به بیان دیگر مدلسازی ساختار تنها برای فاصله برداشت ۵/۰ متر مقادیر خطا با توجه به روش مغناطیسی که بهر حال دارای خطاهای ماهیتی است (مانند اثر میدان وامغناطیده برای ساختارهای با خود پذیری مغناطیسی زیاد) قابل قبول میباشد . چنانکه در جدول (۲) مشاهده میشود برای فاصله ۰/۵ متر ارزیابی محل مرکز ساختار از محل واقعی آن حدود ۱ متر فاصله دارد و مقدار فاصله بین گیرنده دستگاه و ورقه مدفون که از منحنی بدست می آید حدود ۲۷٪ با مقدار واقعی آن اختلاف دارد (مقداری از این خطا نیز مربوط به روش تعیین این پارامترهاست). برای فاصله برد اشت ۱ متر فقط تعیین محل مرکز ورقه همانند فاصله ۰/۵ متر است ولی فاصله ورقه از گیرنده به مقدار ۸/۶۴ متر میرسد که خطای آن برابر ۱۴۷٪ میباشد .برای فاصله های ۱/۵ تا ۳ متر شاهد افزایش قابل توجه خطای ارزیابی محل ورقه و فاصله آن از گیرنده دستگاه میباشیم بطوریکه این مقادیر از ۹/۱۵ تا ۹/۹۱ متر (برای محل مرکز ورقه) وافزایش خطای ارزیابی z تا ۱۷۰٪ میباشد . این مسئله بدلیل آلیاز شدن فركانسهاى بالا ميباشد كه عمده اطلاعات مربوط به مدلسازی در این فرکانسها قرار دارد . البته باید متذکر گردید که در ارتباط با ساختارهای معدنی واقعی که گسترش وعمق دفن آنها از ساختار ورقه مدفون در اینجا

بطور معمول بسیار بیشتر است، توان آلیاز شده قابل قبول میتواند بسیار بیشتر از آنچه که در اینجا بدست آمده باشد.



شکل ۳ : منحنیهای ۱ تا ۶ تغییرات بی هنجاری مغناطیسی حاصل از ساختار ورقه ای را برای فواصل برداشت ۵/۰ تا ۳ متر نشان می دهند.

۰/۵ متر که در محدوده ورقه ها به ۰/۲۵ متر کاهش یافته روی این ساختار به اجرا در آمده است.

شکل (۴) منحنیهای ۱ تا ۷ تغییرات میدان مغناطیسی را روی این پروفیل برای فاصله های ۱،۰،۵ ، ۱، ۲، ۲،۵ ،۲ ، ۳ و ۲/۵ متر نشان میدهند. همانطور که دیده میشود تغییرات میدان از فاصله برد اشت ۱/۵ تا ۳ متر تفاوت چشمگیری ندارند، اگر چه افزایش توان آلیاز شده (جدول۳) بهر حال باعث تفاوتهائی در تغییرات آنها گردیده است . اما منحنی مربوط به فاصله برداشت ۲/۵ ب- منحنیهای تغییرات بیهنجاریهای مغناطیسی ساختار گسلی ومحاسبه توان آلیاز شده

این ساختار شامل دو ورقه آهنی به درازای ۶ متر وپهنای ۱/۵ متر میباشد که ورقه شمالی در عمق۵/۰متر وورقه جنوبی در عمق ۱ متر دفن شده است. بدین ترتیب یک جابجائی ۵/۰ متری قائم بین دو ورقه وجود دارد . یک پروفیل شمالی-جنوبی (عمود بر صفحه ناپیوستگی) برد اشتهای مغناطیسی به فاصله ایستگاهی نشریه دانشکده فنی، جلد ۳۶، شماره ۳، آذرماه ۱۳۸۱

تداعی نمی کند. علت این امر قرارگیری یک میله أهنی روی زمین و در فاصله حدود ۱۸ متری ساختار استوانه ای مدفون است، که باعث تداخل اثر میدان مغناطیسی میله مذکور روی بخش شمال غربی پروفیل برداشت گردیده است (شکل ۲).

فاصله شروع پروفیل برداشت از میله حدود ۷ متر می باشد. این موضوع روی نقشه بی هنجاری مغناطیسی که پیش از این تهیه شده بخوبی نشان داده شده است [1].

بدلیل پیش گفته شکل واقعی میدان مغناطیسی حاصل از ساختار استوانه ای حتی با فاصله برداشت ۰/۲۵ متر هم بدست نیامده است. اما جهت مقایسه منحنیها علاوه بر مقدار توان آلیاز شده فاصله نقطه ماکزیمم أنها از محل مرکز استوانه مدنظر قرار گرفته است (جدول ۴).

		67 :
فاصله	اختلاف فاصله مركز	توان آلياز
ایستگاهها	استوانه از نقطه	شدہ (٪)
(متر)	مرکزی منحنی (متر)	
•/۵	١	۱/۶×۱۰ ^{-۱۳}
١	١	$\gamma/1 \times 1 \cdot - 0$
١/۵	۱/۵	۱/۳۱×۱۰ ^{-۲}
٢	٢	•/٣٣
۲/۵	٢	١/٢
٣	٢	۳/۴۹

جدول ۴ : نتایج حاصل برای ساختار استوانه ای.

همانطور که دیده می شود درصد توان آلیاز شده برای فاصله برداشت ۵/۰ متر بسیار کوچک است و اختلاف مرکز استوانه از نقطه ماکزیمم برابر ۱ متر می باشد که این مقدار برای فاصله برداشت ۱ متر ثابت باقی می ماند ضمن اینکه دو منحنی مربوط به فاصله های برداشت ۵/۰ و ۱ متر (منحنی ۱ و ۲) تفاوت مشخصی با یکدیگر ندارند. شکل منحنی مربوط به فاصله برداشت ۵/۱ متر (منحنی۳) تفاوت محسوسی با دو منحنی قبلی دارد ضمن اینکه با افزایش درصد توان آلیاز شده فاصله ماکزیمم منحنی نیز از مرکز استوانه به ۱/۵ متر افزایش می یابد. منحنیهای از مرکز استوانه به ۱/۵ متر افزایش می یابد. منحنیهای متر با بقیه تفاوت آشکارتری د ارد که مهمترین آن از بین رفتن تغییرات کوچکتر مربوط به شاخه منفی منحنی (قسمت چپ منحنی) میباشد که بیانگر آلیاز شدن فرکانسهای کوچک میباشد .

اگر برای مقایسه ۶ منحنی اول نقاط خاصی را مد نظر قرار دهیم (جدول ۳) چنانکه دیده میشود مقدار توان آلیاز شده از مقادیر بسیار کوچک برای فاصله برداشت ۵/۰ متر شروع شده و تا حدود ۲/۵٪ برای فاصله ۳ متر میرسد. از نظر تعیین محل ناپیوستگی (صفحه گسل) وشروع ورقه شمالی تفاوت چشمگیری بین نتایج حاصل از منحنیهای مشالی تفاوت چشمگیری بین نتایج حاصل از منحنیهای مختلف وجود ندارد، ضمن اینکه روند تغییرات کوچکی هم که وجود دارد از مقدار توان آلیاز شده پیروی نمیکند . اما فاصله نقطه ماکزیمم منحنیها تا انتهای ورقه جنوبی بطور مشخص از مقدار توان آلیاز شده (جدول ۳).

بدین ترتیب میتوان گفت که جهت تفسیر دقیق این ساختار یا به بیان دیگر مدلسازی آن بایستی حداکثر فاصله برداشت ۲/۵ متر را در نظر گرفت .

ج – منحنی های تغییرات بی هنجاری مغناطیسی ساختار استوانه ای و محاسبه توان آلیاز شده

این ساختار به شکل یک استوانه توخالی با قطر تقریبی ۵/۰ متر در راستای شمال شرقی – جنوب غربی بصورت افقی طوری دفن شده که فاصله محور آن تا سطح زمین ۷۵/۰ متر می باشد. روی پروفیلی عمود بر راستای استوانه ایستگاههای اندازه گیری به فاصله ۵/۰ متر (این فاصله در محدوده استوانه به ۲۵/۰ متر کاهش یافته است) به اجرا در آمده است. شکل (۵) منحنیهای تغییرات بی هنجاری مغناطیسی را برای فاصله های برداشت ۵/۰ ،

بطور معمول تغییرات میدان مغناطیسی یک چنین ساختاری بایستی به صورت دو قطبی ظاهر گردد که در اینجا شاخه مربوط به قسمت شمال غربی پروفیل برداشت به جای شروع شدن از مقادیر معمول محوطه برداشت (حدود ۴۷۱۸۰ گاما) و رسیدن به مقادیر منفی (قطب منفی) بطور مستقیم از مقادیر منفی (حدود ۳۸۰- تا منفی) شروع شده که در نتیجه شکل دو قطبی را

یعنی فاصله برداشت ۱ متر را بتوان برای شناخت تفصیلی این ساختار منطقی دانست.

(بخصوص منحنی های ۱ و ۲) از نظر فاصله گفته شده نیز افزایش مشخصی را نشان می دهند، که هماهنگ با افزایش درصد توان آلیاز شده می باشد. بدین ترتیب به نظر می رسد یک حد درصد توان آلیاز شده ^۵-۱۰*۳/۱

فاصله	فاصله مینیمم (۱) از	فاصله مینیمم (۲) از	فاصله ماکزیمم منحنی از	توان آلياز شده	
ایستگاهها	ابتداى ورقه شمالى	صفحه ناپيوستگى	انتهاى ورقه جنوبى	7.	
(متر)	(متر)	(متر)	(متر)		
•/۵	۱/۲۵	۱/۵	* *	1/8*1.	
١	•/Y۵	٢	* *	٣/١*١٠-٥	
۱/۵	۱/۲۵	۱/۵	* *	۱/٣ %۱۰ -۱	
٢	۱/۷۵	٢	* *	•/٣٣	
۲/۵	۱/۲۵	•/۵	•/۵	١/٢	
٣	•/Y۵	١	٢	۳/۴۹	

جدول ۳: نتایج حاصل برای ساختار گسلی.





شکل ۴ : منحنیهای ۱ تا ۷ تغییرات بی هنجاری مغناطیسی حاصل از ساختار گسله را برای فواصل برداشت ۵/۰ تا ۵/ ۳ متر نشان می دهند.



نتیجه گیری و پیشنهاد

در مطالعه حاضر که به دنبال مطالعات قبلی در ارتباط با طراحی شبکه برداشت در مطالعات مغناطیسی [۱] و مدلسازی بی هنجاریهای مولفه قائم مغناطیسی چند شکل ساده هندسی [۵] صورت گرفته است، نشان داده شد، که علاوه بر مسائلی که در طراحی شبکه برداشت براساس محاسبه احتمال کشف مطرح می باشد عمق دفن هدف مورد نظر نیز در این طراحی حائز اهمیت است.

نتایج حاصل نشان می دهد که جهت شناخت دقیق ساختارهای مدفون بایستی فاصله های برداشت به ترتیب ۵/۰ تا ۱ متر برای ورقه، ۲/۵ متر برای گسل و ۱ متر برای استوانه در نظر گرفته شود. این مقادیر با نتایج مطالعاتی که پیش از این در ارتباط با مدلسازی صورت گرفته و فاصله نقاط برداشتی بدون توجه به مسئله ألیازینگ، ۱ متر انتخاب شده بود هماهنگی نشان می دهد [۵]. بدین ترتیب میتوان برای برداشتهای مغناطیسی و

گرانی از مقدار درصد توان آلیاز شده جهت درجه اعتماد به داده های برداشتی استفاده کرد. عدم توجه به پارامترهای ژئومتری و عمق دفن تقریبی ساختارها در طراحی شبکه برداشت، در نهایت روی نقشه ها و مقاطع مربوط به شکل ألیازینگ پدیدار گشته و موجب تفسیر نادرست بی هنجاریها می گردد.

بنابراین پیشنهاد می شود در طراحی شبکه برداشتهای ژئوفیزیکی با تکیه بر تئوریهای احتمال کشف که بیانگر احتمال تعداد نقاط اندازه گیری واقع در بالای ساختار مورد هدف می باشد، مسئله از نظر عمق دفن تقریبی ساختار نیز مورد توجه قرار گیرد. تعداد نقاط برداشتی که تابعی از شکل و گسترش أن و نیز شکل و فاصله شبکه برداشت می باشد، همانند اثر عمق دفن ساختار می تواند بصورت تغییر در توان آلیاز شده ظاهر گردد.

۱ – نوروزی، غ. ح. "طراحی بهینه شبکه برداشت در مطالعات مغناطیسی." نشریه دانشکده فنی، جلد ۳۰، شماره ۲، شماره پیاپی ۶۰، آذرماه (۱۳۷۶).

2 – Gunn, P. J. (1975). Linear transformation of gravity and magnetic filed." *Geophysical Prospecting*, No. 23, PP. 300-312.

3 - Reid, A. B. (1980), "Aeromagnetic Survey design." Geophysics, Vol. 45, No. 5, PP. 973-976.

4 - Reynolds, J. M. (1998). An introduction to applied and environmental geophysics, John Wiley & Sons Ltd.

۵ – نوروزی، غ. ح. "مدلسازی آنومالیهای مولفه قائم مغناطیسی چندشکل ساده هندسی." نشریه علمی – پژوهشی دانشگاه صنعتی امیرکبیر، سال یازدهم، شماره ۴۲، پاییز و زمستان (۱۳۷۸).

مراجع