

## مدل مناسب مصرف بهینه کود نیتروژن در آبیاری نشتی چغندرقد

### Determination of an appropriate model for optimum use of N fertilizer in furrow irrigation

سید معین الدین رضوانی<sup>۱\*</sup>، عباس نوروزی<sup>۲</sup>، کامران آذری<sup>۲</sup> و علی محمد جعفری<sup>۱</sup>  
تاریخ دریافت: ۹۰/۲/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۹/۶

س.م.ا. رضوانی، ع. نوروزی، ک. آذری و ع.م. جعفری. ۱۳۹۲. مدل مناسب مصرف بهینه کود نیتروژن در آبیاری نشتی چغندرقد. مجله چغندرقد ۲۹(۱): ۶۹-۵۳

#### چکیده

برآورد مقدار بهینه کود مصرفی برای کاهش هزینه تولید و مخاطرات زیست محیطی و افزایش عملکرد ضروری است. نیاز بهینه و اقتصادی کود با استفاده از برازش یک مدل بر داده‌های عملکرد نسبت به کود مصرفی به دست می‌آید. در تحقیق حاضر به منظور تعیین مدل مناسب تابع تولید چغندرقد نسبت به مصرف کود نیتروژن و برآورد مقدار بهینه اقتصادی کود مدل‌های چندجمله‌ای درجه دو، جذری، میچرلیخ، هیپربولیک مثلثاتی، چندجمله‌ای درجه دو با آستانه و خطی با آستانه استفاده شد. داده‌های مورد استفاده نتایج یک آزمایش در پنج سطح کودی نیتروژن خالص شامل: صفر، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار و با سیستم آبیاری نشتی در سه تکرار در دو سال ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ بود. مقدار بهینه اقتصادی کود نیتروژن بر اساس قیمت‌های کود و محصول در سال‌های مذکور به دست آمد. مقدار کود با توجه به نسبت قیمت کود به محصول و نوع مدل مورد استفاده متفاوت بود. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل چندجمله‌ای درجه دو برای توصیف تابع تولید و مقدار بهینه اقتصادی کود در زراعت چغندرقد مناسب است. با کاربرد این مدل مقدار بهینه اقتصادی کود نیتروژن در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ به ترتیب ۲۳۵/۸ و ۲۴۸/۹ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. مقدار بهینه اقتصادی کود نیتروژن با استفاده از این مدل در سال ۱۳۹۰ بر اساس مدل سال ۱۳۸۲ با نرخ مصوب و آزاد کود اوره به ترتیب ۲۳۴/۷ و ۲۲۵/۱ کیلوگرم در هکتار و بر اساس مدل سال ۱۳۸۳ به ترتیب ۲۴۷/۹ و ۲۴۰/۸ کیلوگرم در هکتار به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: چغندرقد، کود نیتروژن، مدل چند جمله‌ای درجه دو، مصرف اقتصادی

\* نویسنده مسئول [moin.rezvani@gmail.com](mailto:moin.rezvani@gmail.com)  
۱- مربی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان  
۲- کارشناس مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان

## مقدمه

تعیین مقدار بهینه مصرف کود نیتروژن در زراعت چغندر قند از اهمیت زیادی برخوردار است زیرا نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر مورد نیاز چغندر قند است که بیش از سایر عناصر مورد مصرف قرار می‌گیرد (Weeden 2000) میزان و چگونگی مصرف آن روی کمیت و کیفیت محصول چغندر قند از اهمیت خاصی برخوردار است (Hills et al. 1978). به طوری که جذب مقادیر زیاد نیتروژن از خاک، موجب افزایش ناخالصی‌های ریشه و کاهش قند استحصال می‌شود (Cattanach et al. 1993). نیتروژن عنصر متحرک و قابل شستشو است (Cattanach et al. 1993). لذا مصرف بی‌رویه و غیراصولی آن علاوه بر کاهش راندمان کود مصرفی، از مهم‌ترین عوامل آلاینده منابع آب‌های زیرزمینی است (Hills et al. 1978).

تعیین مقدار بهینه کود از طریق برآزش چند نوع مدل بر داده‌های جمع‌آوری شده صورت می‌گیرد (Cerrato and Blackmer 1990; Belanger et al. 2000; Sayili and Akca 2004; Mortensen and Beattie 2005). از این روش در تعیین مقدار بهینه کود در محصولات مختلف همچون ذرت (Cerrato and Blackmer 1990; Bullock and Bullock 1994; Sumelius et al. 2002; Franke et al. 2004). سبب زمینی (Belanger et al. 2000)، کاهو (Pour Marvi 2008)، چغندر قند (Adams et al. 1983; Sayili and Akca 2004)

(Lim et al. 2010; 2004)، ذرت خوشه‌ای، سویا (Wortmann et al. 2007)، جو بهاره و پاییزه و گندم پاییزه (Mortensen and Beattie 2005) استفاده شده است. انتخاب مدل مناسب تابع تولید به دلیل اثری که بر برآورد مقدار بهینه کود دارد بسیار مهم است (Cerrato and Blackmer 1990; Belanger et al. 2000; Sayili and Akca 2004; Mortensen and Beattie 2005; Pour Marvi 2008).

مدل‌های مختلفی از جمله چندجمله‌ای درجه دو، مدل جذری، مدل هیپربولیک مثلثاتی، مدل میچرلیخ، مدل معادله درجه دو با آستانه و مدل خطی با آستانه در برآورد مقدار بهینه کود استفاده می‌شوند. (Cerrato and Blackmer 1990; elanger et al. 2000; Sayili and Akca 2004; Mortensen and Beattie 2005; Pour Marvi Franke et al. 2004; Sumelius et al. 2008; Adams et al. 1983).

آدامز و همکاران (Adams et al. 1983) در تحقیقی با استفاده از مدل چند جمله‌ای درجه دو مقدار بهینه کود در زراعت چغندر قند را به دست آوردند. مقدار نیتروژن به کار برده شده بین صفر تا ۴۴۸ کیلوگرم در هکتار بود. مقدار کود مصرفی برای تولید حداکثر براساس عملکرد ریشه در سه سال انجام آزمایش به ترتیب ۲۲۴، ۲۳۸ و ۲۴۹ و برای تولید بهینه اقتصادی ۲۱۴، ۲۰۵ و ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. سایلی و آکسا (Sayili and Akca 2004) بر اساس

۴۰، ۸۰، ۱۲۰، ۱۶۰، ۲۰۰، ۲۴۰، ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار انجام دادند. در این تحقیق مقدار تقریبی کل نیتروژن ضروری برای تولید بهینه محصول چغندرقد، ۲۶۸ کیلوگرم در هکتار به دست آمد.

سطح کشت چغندرقد استان همدان در سال زراعی ۸۹-۱۳۸۸ برابر ۳۱۹۰ هکتار بوده است (Anon 2011) که نسبت به سال زراعی ۸۴-۱۳۸۳ با سطح زیرکشت ۷۱۱۱ هکتار (Anon 2006) ۵۵ درصد کاهش داشت اما نسبت به سال زراعی ۸۸-۱۳۸۷ که سطح زیر کشت آن ۱۱۰۶ هکتار بود (Anon 2010a)، افزایش ۲/۹ برابر طی یک سال را نشان می‌دهد. با توجه به امکانات بالقوه موجود در استان، انتظار افزایش سطح زیر کشت در سال‌های آینده دور از انتظار نیست. از طرفی همانگونه که ذکر شد نیتروژن یکی از مهم‌ترین عناصر کودی مورد نیاز چغندرقد است که بیشتر از سایر عناصر در زراعت این گیاه استفاده می‌شود. بنابراین هدف تحقیق حاضر تعیین مدل مناسب تابع تولید چغندرقد و برآورد مقدار بهینه مصرف کود نیتروژن در منطقه همدان به منظور افزایش عملکرد چغندرقد و کاهش هزینه‌های تولید و مقابله با اثرات زیانبار زیست محیطی نیتروژن بوده است.

### مواد و روش‌ها

برای محاسبه مقدار بهینه و اقتصادی کود از داده‌های مقادیر کود و عملکرد ریشه چغندرقد در

اطلاعات جمع‌آوری شده از ۷۵ مزرعه کشت چغندرقد طی دو سال ۲۰۰۲-۲۰۰۳، نه مدل خطی، چندجمله‌ای درجه دو، جذری، نمایی، نیمه لگاریتمی، چندجمله‌ای درجه سه، کاب داگلاس و ریبی پروکال را بر داده‌ها برازش دادند. بر اساس ضریب همبستگی و خطای استاندارد مدل چند جمله‌ای درجه دو مناسب تشخیص داده شد. مقدار اقتصادی بهینه کود نیز ۳۲۱/۰۷ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. لیم و همکاران (Lim et al. 2010) نتایج حاصل از کشت گلدانی چغندرقد را در خاک شور سدیمی بر چهار مدل تابع تولید شامل چندجمله‌ای درجه دو، نمایی، جذری و خطی با آستانه برازش دادند. در این تحقیق مدل خطی با آستانه بهترین برازش را با داده‌ها داشت و مقدار کود نیتروژن مطلوب بر اساس این مدل ۱۳۸ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد.

طالقانی (Talleghani 1998) در مطالعه کارایی مصرف آب و نیتروژن در زراعت چغندرقد گزارش کرد که مقدار کود لازم جهت دستیابی به حداکثر عملکردقد در منطقه کرج ۲۴۰ کیلوگرم نیتروژن می‌باشد. هیلز و همکاران (Hills et al. 1978) در بررسی ۲۱ مزرعه چغندرقد نتیجه گرفتند به ازای افزایش حدود ۱۸ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار، یک تن ریشه تولید شد. بیلباو و همکاران (Bilbao et al. 2004) بر روی چغندرقد، سی و سه آزمایش در مناطق با محدودیت زهکشی، کمبود آب و بدون محدودیت و با هشت سطح کود نیتروژن شامل: صفر،

پنوماتیک صورت گرفت. پخش کود سرک به صورت پاشش انجام شد. در زمان برداشت، تهیه نمونه ریشه از هر کرت توسط دو کادر تصادفی که هر کادر شامل دو خط به طول پنج متر بود، صورت گرفت.

سوملیوس و همکاران (Sumelius et al. 2002)، موتسنس و بیٹی (Mostensen and Beattie 2003) برای بهینه کردن مقدار سود از تابع ۱ استفاده کردند:

$$\pi = P_i f(x_n, x_1, \dots, x_z, s, r) - w x_1 \quad (1)$$

که در آن  $y = f(x_n, x_1, \dots, x_z, s, r)$  تولید،  $x_n$  مقدار نیتروژن اعمال شده و  $(i=1, 2, 3, \dots, z-1, z)$   $x_i$  نهاده‌های تولید به‌جز مقدار  $N$ ، خاک،  $r$  بارندگی و  $w$  قیمت نهاده نام هستند. با فرض این که تمام نهاده‌های تولید قطعی باشند با تغییر مقدار  $N$  سطح حداکثر سود حاصل از مقدار  $x_n$  کود نیتروژن اعمال شده از مشتق درجه اول به شرح روابط ۲ به‌دست می‌آید:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi}{\partial x_n} &= \frac{\partial P f(x_1, \dots, x_n, s, r)}{\partial x_n} = \frac{\partial w_1 x_1}{\partial x_n} = 0 \\ \frac{\partial \pi}{\partial x_n} &= P \frac{\partial f(x_n)}{\partial x_n} - w_1 = 0 \\ \frac{\partial f(x_n)}{\partial x_n} &= \frac{w_1}{P} \end{aligned} \quad (2)$$

با استفاده از این مدل ساده می‌توان مقدار بهینه مصرف کود نیتروژن را به‌دست آورد. نرخ مصوب هر کیلوگرم کود اوره در سال ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ به ترتیب ۴۲۰ و ۴۵۰ ریال بود (Anon 2010b). در سال ۱۳۹۰ نرخ مصوب هر کیلوگرم کود اوره ۱۳۵۰ ریال (مصوبه شماره ۱۱۵۰۵۰/ت/۴۶۴۱۶/هـ مورخ ۱۳۹۰/۶/۶ هیئت

سیستم آبیاری نشتی (جدول ۱) ارائه شده در مقاله رضوانی و همکاران (Rezvani et al. 2009) استفاده شد. تحقیق مذکور در ایستگاه اکباتان مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان در سال‌های ۸۳-۱۳۸۲ به صورت کرت‌های خرد شده در سه تکرار و با ۱۵ تیمار اجرا شده بود. سیستم‌های مختلف آبیاری در سه سطح شامل آبیاری بارانی (کلاسیک)، آبیاری نشتی (هیدروفلوم) و قطره‌ای (تیپ) با نوار (۵۰۰-۲۰-۵۰۸) در کرت‌های اصلی و مقادیر کود نیتروژن، در پنج سطح شامل صفر، ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار در کرت‌های فرعی قرار داشتند. در این مقاله تنها از نتایج مربوط به عملکرد ریشه در آبیاری نشتی در تحقیق مذکور که عمده‌ترین روش آبیاری در منطقه برای زراعت چغندر قند است، استفاده شد. برای اجرای آزمایش از الگوی آرایش کاشت ۴۰×۵۰ (فاصله بوته روی ردیف ۴۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی دو پشته مجاور ۵۰ سانتی‌متر) استفاده شد. مساحت هر کرت فرعی ۱۰۸ مترمربع بود و کشت به صورت ردیفی (جوی و پشته، هر پشته دو خط، چهار پشته در هر کرت) و به طول ۳۰ متر انجام شد. در سال اول و دوم، بافت خاک به ترتیب لومی و شنی‌لومی بود (جدول ۱). از رقم منوژرم دوروتی ایرانی برای کشت استفاده شد. فسفر و پتاسیم بر اساس نتایج تجزیه خاک قبل از کشت مصرف شد. کود نیتروژن از منبع اوره در تیمارهای مربوطه در کرت‌ها پخش و کشت بذر با استفاده از بذر کار

**مدل هیپربولیک مثلثاتی:**

$$Y = \beta_0 + \frac{\beta_1}{1 + \beta_2 N} \quad (5)$$

که در آن  $\beta_0$  حد بالای عملکرد را وقتی  $N$  به سمت بی‌نهایت میل می‌کند ( $N \rightarrow \infty$ ) نشان می‌دهد.  $\beta_1 + \beta_0$  محل برخورد منحنی با محور  $Y$ ، یعنی عملکرد، وقتی که  $N = 0$  باشد و  $\beta_2$  پارامتر شکل است (Franke et al. 2004).

**مدل میچرلیخ:**

$$Y = \beta_0 (1 - e^{-\beta_2 (N + \beta_1)}) \quad (6)$$

که در آن حداکثر عملکرد قابل دسترس معادل  $\beta_0$  درصد وقتی  $N \rightarrow \infty$ ،  $\beta_1$  و  $\beta_2$  ضرایب ثابت حاصل از برازش مدل بر داده‌ها هستند. ضریب  $\beta_2$  معرف عامل تأثیر میچرلیخ است. (Cerrato and Blackmer 1990; Belanger et al. 2000; Sumelius et al. 2002).

**مدل معادله درجه دو با آستانه:**

$$Y = \beta_0 + \beta_1 N + \beta_2 N^2 \text{ for } N < C \quad (7)$$

$$Y = P \text{ for } N \geq C$$

که در آن  $\beta_0$  عرض از مبدا،  $\beta_1$  ضریب خطی،  $\beta_2$  ضریب درجه دو،  $C$  مقدار بحرانی کود که در محل برخورد تابع تولید درجه دو و ثابت خطی منحنی اتفاق می‌افتد و  $P$  عملکرد آستانه است. (Cerrato and Blackmer 1990; Sayili and Akca 2004; Mortensen and Beattie 2005).

وزیران) و نرخ کود اوره اواسط سال ۱۳۹۰ در بازار آزاد بر اساس پرسش از بهره‌برداران به ۳۰۰۰ ریال رسید. قیمت خرید تضمینی هر کیلوگرم چغندرقد با عیار ۱۶ درصد در سال ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ به ترتیب ۳۵۵ و ۳۹۰ ریال بود و در سال ۱۳۹۰ به ۹۰۰ ریال رسید (Anon 2011).

مدل‌های استفاده شده در این تحقیق که در تمامی آن‌ها  $Y$  عملکرد متناظر با مقادیر مختلف  $N$  می‌باشد روابط ۳ لغایت ۸ می‌باشد:

**چندجمله‌ای درجه دو:**

$$Y = \beta_0 + \beta_1 N + \beta_2 N^2 \quad (3)$$

که در آن  $\beta_0$  عرض از مبدا،  $\beta_1$  ضریب خطی،  $\beta_2$  ضریب درجه دو است. (Cerrato and Blackmer 1990; Belanger et al. 2000; Sayili and Akca 2004; Mortensen and Beattie 2005; Pour Marvi 2008; Adams et al. 1983).

**مدل جذری:**

$$Y = \beta_0 + \beta_1 N^{(0.8)} + \beta_2 N \quad (4)$$

که در آن  $\beta_0$  عرض از مبدا،  $\beta_1$  ضریب خطی،  $\beta_2$  ضریب ریشه درجه دو است. (Cerrato and Blackmer 1990; Belanger et al. 2000; Sumelius et al. 2002; Sayili and Akca 2004; Adams et al. 1983).

**مدل خطی با آستانه:**

$$Y = \beta_0 + \beta_1 N \text{ for } N < C \quad (۸)$$

$$Y = P \quad \text{for } N \geq C$$

که در آن  $\beta_0$  عرض از مبدا،  $\beta_1$  ضریب خطی،  $C$  مقدار بحرانی کود که در محل برخورد تابع تولید خطی و قسمت ثابت خطی منحنی اتفاق می‌افتد و  $P$  عملکرد آستانه است. (Cerrato and Blackmer 1990; Pour Marvi 2008).

برای بررسی اعتبار مدل‌های رگرسیونی استفاده شده فرضیات رگرسیون شامل آزمون نرمال بودن توزیع باقی‌مانده‌ها (شاپیرو- ویلک)، آزمون خود همبستگی (دروبین واتسون) و ناهمسانی واریانس باقی‌مانده‌ها با نرم‌افزار SigmaPlot 12 انجام شد (Anon 2010c).

**نتایج**

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که بین عملکرد ریشه در دو سال مورد بررسی در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (Rezvani et al. 2009). به این دلیل داده‌های هر سال به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۲). ضرایب مدل‌های برازش شده بر داده‌های مقادیر کود و عملکرد ریشه چندرقت طی سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ در جدول ۳ آورده شده‌اند. بالاترین ضریب تبیین در سال ۱۳۸۲ به ترتیب مربوط به مدل‌های درجه دو با آستانه و درجه یک با آستانه بود و مدل چندجمله‌ای درجه دو بعد از آن‌ها قرار داشت. در

این سال کمترین مقدار این ضریب مربوط به مدل جذری بود، در حالی که این مدل در سال ۱۳۸۳ دارای بالاترین ضریب تبیین و مدل خطی با آستانه دارای کمترین ضریب تبیین بود. ضریب تبیین معیار ضعیفی برای انتخاب مدل به منظور برآورد به شمار می‌رود (Cerrato and Blackmer 1990; Belanger et al. 2000). هر چند ضریب تبیین مدل‌ها با یکدیگر متفاوت بود اما تمامی مدل‌های برازش یافته از نظر آماری در سطح کمتر یا مساوی ۰/۰۱ معنی‌دار بودند (جدول ۳).

مدل‌های رگرسیونی برای معتبر بودن نباید هیچ نوع ارببی سیستماتیکی داشته باشند، بنابراین باقی‌مانده‌های رگرسیون می‌بایست دارای توزیع نرمال باشند (Cerrato and Blackmer 1990). برای این منظور آزمون نرمال بودن باقی‌مانده‌ها توسط روش شاپیرو- ویلک انجام شد و نشان داد باقی‌مانده‌های تمامی مدل‌های به کار برده شده دارای توزیع نرمال هستند. آماره دروبین واتسون (جدول ۳) در تمامی مدل‌ها حدود دو بود که نشان از عدم وجود خود همبستگی در مدل‌های مورد بررسی است. آزمون ناهمسانی واریانس باقی‌مانده‌ها که از طریق محاسبه ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن بین قدر مطلق باقی‌مانده‌ها و مقدار مشاهده شده متغیر وابسته توسط نرم‌افزار SigmaPlot 12 صورت گرفت نشان داد که ناهمسانی واریانس بین باقی‌مانده‌ها در هیچ‌کدام از مدل‌ها وجود ندارد.

مقادیر ۱۵۷/۸، ۲۳۵/۸ و ۲۶۴/۱ کیلوگرم در هکتار و در سال ۱۳۸۳ مدل‌های خطی با آستانه، درجه دو با آستانه و درجه دو با مقادیر ۱۳۱/۴، ۱۵۸/۲ و ۲۴۸/۹ کیلوگرم در هکتار، پاسخ‌های قابل قبولی داشتند. در سال ۱۳۸۲ مقدار کود نیتروژنه بهینه حاصل از مدل درجه دو با آستانه منفی به دست آمد (شکل ۲ ب). مقادیر به دست آمده از مدل‌های میچرلیخ و هیپربولیک بسیار بالا بود و تفاوت زیادی با دامنه مورد بررسی داشتند (شکل ۲ و، ز). در سال ۱۳۸۳ نیز مقادیر به دست آمده از مدل‌های جذری، میچرلیخ و هیپربولیک بسیار بالا بود. در سال ۱۳۹۰ بر اساس قیمت‌های مصوب و آزاد کود اوره و نیز قیمت خرید تضمینی چغندرقد مقادیر بهینه اقتصادی نیتروژن مصرفی به دست آمد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود (جدول ۵) بر اساس قیمت مصوب کود اوره در سال ۱۳۹۰ مدل‌ها همانند سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ پاسخ می‌دهند، هرچند مقادیر به دست آمده با توجه به تغییر نسبت قیمت کود به قیمت محصول متفاوت است. بر اساس قیمت بازار آزاد کود اوره و مدل‌های سال ۱۳۸۲ نه تنها مقادیر به دست آمده از مدل درجه دو با آستانه منفی بود بلکه مقدار حاصل از مدل هیپربولیک مثلثاتی نیز منفی به دست آمد. با مدل‌های جذری و میچرلیخ نیز مقادیر بزرگی به دست آمد. با استفاده از مدل‌های سال ۱۳۸۳ و قیمت آزاد کود اوره، رفتار مدل‌ها مانند سال ۱۳۸۳ بود، جز این‌که مقدار حاصل از مدل هیپربولیک مثلثاتی به دست آمد.

محاسبه خطای استاندارد نشان داد که در سال ۱۳۸۲ کمترین خطای استاندارد را مدل خطی با آستانه معادل ۴/۶۰ دارد. بیشترین خطای استاندارد در این سال مربوط به مدل جذری با ۵/۲۱ بود. در سال ۱۳۸۳ کمترین و بیشترین مقدار خطای استاندارد به ترتیب مربوط به مدل جذری و مدل خطی با آستانه با مقادیر ۶/۳۲ و ۷/۱۲ بود. کمترین مقدار جذر میانگین مربع خطای مدل‌ها در سال ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ به ترتیب مربوط به مدل درجه دو با آستانه و مدل جذری با مقادیر ۴/۲۱ و ۵/۸۲ بود.

بررسی نتایج نشان داد که تمامی مدل‌های برازش یافته از نظر آماری معنی‌دار بودند و توزیع آماری باقی‌مانده‌های آن‌ها نیز به توزیع نرمال نزدیک بود. در سال ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ به ترتیب مدل چندجمله‌ای درجه دو و مدل جذری، به ترتیب بیشترین نزدیکی را با توزیع نرمال داشتند که همراه با در نظر گرفتن خطای استاندارد و جذر میانگین مربع خطا در سال ۱۳۸۲ مدل‌های آستانه‌دار خطی و آستانه‌دار درجه دو و در سال ۱۳۸۳ مدل‌های جذری و هیپربولیک مثلثاتی مناسب بودند. در مجموع می‌توان گفت مدل‌های درجه دو و جذری به ترتیب برای دو سال آزمایش مناسب هستند.

در جدول ۴ مقادیر بهینه اقتصادی کود نیتروژنه با استفاده از مدل‌های مختلف آورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در سال ۱۳۸۲، فقط مدل‌های خطی با آستانه، درجه دو و جذری به ترتیب با

## بحث

در تحقیق حاضر مدل‌های درجه دو و جذری برای توصیف تابع تولید ریشه چغندر قند نسبت به کود نیتروژن مناسب تشخیص داده شد که با نتایج آدامز و همکاران (1983) و سایی و آکسا (Sayili and Akca 2004) همخوانی دارد اما با نتایج لیم و همکاران (2010) که مدل خطی با آستانه را مناسب تشخیص داده‌اند، منطبق نیست. روش انتخاب مدل در این منابع متفاوت بوده است. آدامز و همکاران (1983) تنها بر اساس مطالعات پیشین مدل درجه دو را انتخاب نمودند که آن مطالعات نیز روی چغندر قند نبودند. سایی و آکسا (2004) نیز تنها براساس ضریب تبیین و خطای استاندارد مدل مناسب را انتخاب کردند و نرمال بودن باقی‌مانده‌ها را بررسی نمودند. ضمناً مدل‌های برازش شده توسط ایشان براساس داده‌های پرسشنامه‌ای و نه داده‌های مزرعه‌ای بود. نتایج تحقیق لیم و همکاران (2010) نیز براساس برازش مدل‌ها روی داده‌های حاصل از کشت گلدانی استوار بود.

با توجه به این که مقدار بهینه کود در مدل خطی با آستانه در نقطه برخورد تابع تولید خطی و قسمت ثابت خطی منحنی اتفاق می‌افتد (Cerrato and Blackmer 1990). مقدار بهینه کود در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ به ترتیب ۱۵۷/۸ و ۱۳۱/۴ کیلوگرم در هکتار به دست آمد و مقداری ثابت است، یعنی به تغییرات نسبت قیمت کود به قیمت محصول بستگی

ندارد. به همین دلیل بر اساس قیمت‌های دوره دولتی و آزاد سال ۱۳۹۰ مقدار بهینه کود با سال‌های پیشین تفاوتی نداشت. لیم و همکاران (2010) نیز مقدار بهینه کود نیتروژن را با مدل خطی با آستانه ۱۳۸ کیلوگرم بر هکتار به دست آورده‌اند که با نتیجه سال ۱۳۸۲ این تحقیق همخوانی دارد. در مجموع این مدل مقادیری پایین‌تری نسبت به مدل‌های دیگر در این تحقیق نشان داد.

مدل درجه دو با آستانه در سال ۱۳۸۲ مقدار بهینه کود را به دست نداد، اما در سال ۱۳۸۳ با استفاده از این مدل مقدار بهینه کود ۱۵۸/۲ کیلوگرم در هکتار به دست آمد که از مقدار به دست آمده از مدل چندجمله‌ای درجه دو کمتر است.

با کاربرد مدل چندجمله‌ای درجه دو مقدار اقتصادی بهینه کود نیتروژن در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ به ترتیب ۲۳۵/۸ و ۲۴۸/۹ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. مقدار اقتصادی بهینه کود نیتروژن با استفاده از این مدل در سال ۱۳۹۰ بر اساس مدل سال ۱۳۸۲ با نرخ مصوب و بازار آزاد به ترتیب ۲۳۴/۷ و ۲۲۵/۱ کیلوگرم در هکتار و بر اساس مدل سال ۱۳۸۳ به ترتیب ۲۴۷/۹ و ۲۴۰/۸ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. این مقادیر با نتایج به دست آمده توسط آدامز و همکاران (1983) که مقدار مصرف کود نیتروژن را برای تولید اقتصادی در سه سال انجام آزمایش به ترتیب ۲۱۴، ۲۰۵ و ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار به دست آوردند قابل مقایسه است اما با مقدار اقتصادی بهینه



کود به دست آمده توسط سایللی و آکسا (2004) ۳۲۱/۰۷ کیلوگرم در هکتار متفاوت است.

بررسی مقادیر اقتصادی بهینه کود نشان می‌دهد که با افزایش قیمت کود مقدار بهینه کاهش پیدا می‌کند، به طوری که بر اساس مدل چند جمله‌ای درجه دو، از مقدار به دست آمده در سال ۱۳۸۲ به مقدار ۲۳۵/۸ کیلوگرم در هکتار و در سال ۱۳۹۰ بر پایه نرخ‌های مصوب به ۲۳۴/۷ کیلوگرم در هکتار و بر اساس نرخ آزاد کود به ۲۲۵/۱ کیلوگرم در هکتار کاهش پیدا می‌کند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با توجه به نرخ‌های مصوب کود اوره بین سال ۱۳۸۲ و ۱۳۹۰ مقدار کاهش مقدار اقتصادی بهینه کود تنها حدود یک کیلوگرم در هکتار است. در حالی که با در نظر گرفتن قیمت آزاد سال ۱۳۹۰ این مقدار به حدود ۱۱ کیلوگرم در هکتار می‌رسد. با مقایسه سال ۱۳۸۳ و سال ۱۳۹۰ نیز تفاوت بین مقدار اقتصادی بهینه کود بر پایه نرخ مصوب همان یک کیلوگرم در هکتار و با در نظر گرفتن نرخ آزاد در سال ۱۳۹۰ حدود هشت کیلوگرم در هکتار است. بررسی اثر قیمت‌های مصوب و آزاد کود اوره بر مقدار بهینه اقتصادی مصرف نیتروژن در سال ۱۳۹۰ نشان می‌دهد که در این سال با توجه به در نظر گرفتن مدل‌های درجه دو سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ فاصله بین مقدار مصرف بهینه اقتصادی کود بر اساس قیمت‌های مصوب و آزاد به ترتیب ۹/۶ و ۷/۱ کیلوگرم در هکتار است.

بر اساس این نتایج در حالی که افزایش قیمت کود بر اساس نرخ‌های مصوب بین سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳، تنها باعث کاهش یک کیلوگرم در هکتار مصرف بهینه کود می‌شود، در سال ۱۳۹۰ تفاوت قیمت کود مصوب و آزاد سبب کاهش هفت تا ۱۰ کیلوگرم کود در هکتار می‌شود.

مدل چندجمله‌ای درجه دو با آستانه در سال ۱۳۸۳ مقدار اقتصادی بهینه کود را ۱۵۸/۲ کیلوگرم در هکتار به دست داد. این مقدار در سال ۱۳۹۰ با قیمت مصوب و آزاد کود به ترتیب ۱۵۷/۹ و ۱۵۵/۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. با مدل جذری در سال ۱۳۸۲ مقدار اقتصادی بهینه کود ۲۶۴/۱ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. با این مدل در سال ۱۳۹۰ و با قیمت دولتی مقدار اقتصادی بهینه کود ۲۸۰/۷ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در این مدل با افزایش قیمت به جای کاهش مصرف کود، افزایش ۱۶/۶ کیلوگرم در هکتار را مشاهده شد. با بررسی جدول ۴ می‌توان دید که در مدل جذری مقدار اقتصادی بهینه کود از مقدار حداکثر بدست آمده از مدل بیشتر است و مبین این است که در تحقیق حاضر، مدل جذری مدل مناسبی برای برآورد مقدار بهینه کود نیست.

در مجموع بررسی نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که به ترتیب در مدل خطی با آستانه، چند جمله‌ای درجه دو با آستانه، چند جمله‌ای درجه دو و جذری مقدار اقتصادی بهینه کود افزایش می‌یابد که این یافته‌ها با نتایج Cerrato and Blackmer

کود نیتروژن بر اساس پارامترهای آماری مورد استفاده مناسب بودند، اما برای محاسبه مقدار بهینه اقتصادی کود نیتروژن در زراعت چغندر قند مدل درجه دو مناسب تشخیص داده شد. نتایج به دست آمده در این تحقیق نشان می‌دهد که مدل چندجمله‌ای درجه دو برای توصیف تابع تولید و مقدار بهینه اقتصادی کود در زراعت چغندر قند مناسب است. همچنین بهترین مدل توصیف کننده تابع تولید بر اساس مقدار نیتروژن، لزوماً مدل مناسب برای برآورد مقدار بهینه اقتصادی کود مصرفی نمی‌باشد.

1990; Donald et al.1994; Mortensen and Beattie 2005) همخوانی دارد. هرچند در نتایج (Sumelius et al. 2002; Tageldin and El-Gizawy 2005; Mortensen and Beattie 2005) مقادیر اقتصادی بهینه کود به دست آمده از مدل خطی با آستانه کوچکتر از معادله درجه دو با آستانه و معادله درجه دو بود، اما مدل‌های جذری و نمایی مقادیر کمتری از معادله درجه دو و درجه دو با آستانه نشان دادند. در دو سال انجام تحقیق حاضر مدل‌های درجه دو و جذری برای توصیف تابع تولید چغندر قند نسبت به

جدول ۱ میانگین نتایج تجزیه برخی پارامترهای خاک مزرعه آزمایشی در عمق ۰-۳۰ سانتی متری در دو سال اجرای طرح

سال	هدایت الکتریکی ds/m	اسیدیته	مواد خنثی شونده (درصد)	کربن آلی (درصد)	نیتروژن کل (درصد)	فسفر قابل جذب (میلی گرم در کیلوگرم)	پتاسیم قابل جذب (میلی گرم در کیلوگرم)	رس (درصد)	لائی (درصد)	شن (درصد)	یافت
۱۳۸۲	-/۴۳	۸/۶	۱۰/۲۵	۰/۴۷	-/۴۷	۱۳/۲	۴۰۰	۲۴/۴	۳۱/۹	۴۳/۷	L
۱۳۸۳	-/۴۱	۸/۸	۴/۹۵	-/۳	۰/۳	۱۱/۶	۲۹۰	۱۴/۷	۲۳/۹	۶۱/۴	SL

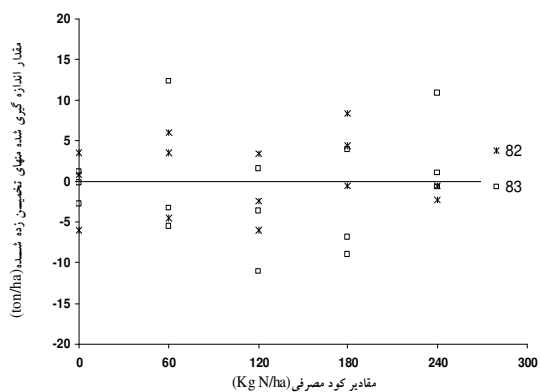
جدول ۲ مقادیر سالانه عملکرد چغندر قند در سطوح مختلف نیتروژن در سال‌های مختلف

سال	تیمار	عملکرد ریشه (تن در هکتار)		
		تکرار ۱	تکرار ۲	تکرار ۳
۱۳۸۲	نیتروژن صفر	۴۰/۵۶	۳۳/۷۸	۴۳/۲۲
	نیتروژن ۶۰ (تن در هکتار)	۳۹/۱۱	۴۷/۱۱	۴۹/۵۶
	نیتروژن ۱۲۰ (تن در هکتار)	۴۳/۸۹	۴۷/۴۴	۵۳/۲۲
	نیتروژن ۱۸۰ (تن در هکتار)	۵۴/۴۴	۶۳/۳۳	۵۹/۴۴
۱۳۸۳	نیتروژن ۲۴۰ (تن در هکتار)	۵۲/۶۷	۵۴/۴۴	۵۳/۸۹
	نیتروژن صفر	۵۰/۰۰	۵۱/۴۴	۴۷/۴۴
	نیتروژن ۶۰ (تن در هکتار)	۶۰/۲۲	۶۲/۴۴	۷۸/۱۱
	نیتروژن ۱۲۰ (تن در هکتار)	۶۳/۰۰	۷۰/۴۴	۷۵/۶۷
	نیتروژن ۱۸۰ (تن در هکتار)	۶۵/۰۰	۶۷/۱۱	۷۷/۸۹
	نیتروژن ۲۴۰ (تن در هکتار)	۷۵/۰۰	۷۷/۳۳	۸۴/۸۹

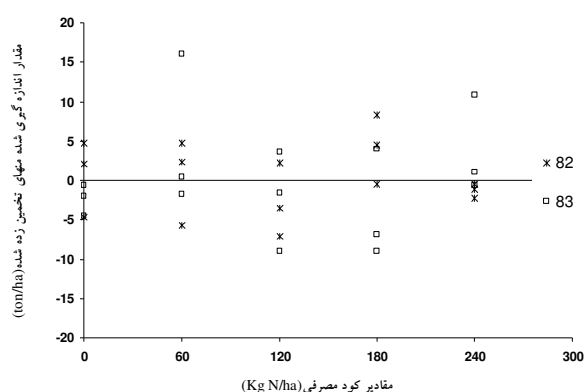
۳ ضرایب برازش یافته بر مدل‌های عملکرد چغندر قند نسبت به سطوح مختلف نیتروژن اعمال شده در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳

آزمون شاپیرو-ویلک		آماره دوربین-واتسن	همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن (احتمال) P	جزر میانگین مربع خطا RMSE	خطای استاندارد SE	آماره F	ضریب تبیین R <sup>2</sup>	ضرایب		
W	P							$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$
-/۹۸۱۰	-/۹۷۵۷ <sup>***</sup>	۲/۲۴۶۳	۰/۳۸۰۹ <sup>*</sup>	۴/۴۶	۴/۹۹	۱۲/۰۱۰۹ <sup>**</sup>	۰/۶۶۶۹	۳۸/۳۷۵۷	۰/۱۴۲۷	-/۰۰۰۳
-/۹۶۸۶	-/۸۶۶۳ <sup>***</sup>	۲/۰۶۸۲	۰/۹۲۳۴ <sup>*</sup>	۴/۶۶	۵/۲۱	۱۰/۴۹۰۹ <sup>**</sup>	۰/۶۳۶۲	۳۸/۸۷۸۷	۰/۷۴۸۵	۰/۰۲۵۶
-/۹۶۸۵	-/۸۳۴۷ <sup>***</sup>	۲/۱۵۷۳	۰/۶۲۹۵ <sup>*</sup>	۴/۵۵	۴/۸۹	۱۱/۲۹۵۲ <sup>**</sup>	۰/۶۵۳۱	۶۱/۱۶۰۵	۱۵۹/۰۹۲۶	۰/۰۰۶۳
-/۹۶۵۸	-/۹۱۹۵ <sup>***</sup>	۲/۱۳۳۶	۰/۷۱۴۳ <sup>*</sup>	۴/۵۸	۴/۹۲	۱۱/۱۱۲۰ <sup>**</sup>	۰/۶۴۹۴	۷۴/۳۷۰۴	-۳۵/۵۳۵۰	۰/۰۰۴۱
-/۹۶۰۸	-/۷۰۶۴ <sup>***</sup>	۲/۳۱۸۴	۰/۳۸۰۹ <sup>*</sup>	۴/۲۱	۴/۷۰	۶۷۹/۳۱۸ <sup>***</sup>	۰/۷۵۸	۳۹/۷۴۴	۰/۰۴۴۲	۰/۰۰۰۳
-/۹۷۳۶	-/۹۰۷۵ <sup>***</sup>	۲/۳۷۳۷	۰/۳۸۰۹ <sup>*</sup>	۴/۲۸	۴/۶۰	۱۰۲۱/۴۳۷ <sup>***</sup>	۰/۷۳۹	۳۸/۵۳۹	۰/۱۰۴۳	-
-/۹۳۳۴	-/۲۹۶۱ <sup>***</sup>	۲/۲۸۶۷	۰/۲۲۴۳ <sup>*</sup>	۶/۳۷	۷/۱۲	۱۱/۵۸۷۸ <sup>**</sup>	۰/۶۵۸۹	۵۱/۸۵۶۱	۰/۲۰۱۶	-/۰۰۰۴
-/۹۴۹۵	-/۵۱۶۰ <sup>**</sup>	۲/۴۳۴۸	۰/۳۳۳۱ <sup>*</sup>	۵/۸۲	۶/۵۱	۱۴/۶۶۴۸ <sup>***</sup>	۰/۷۰۹۷	۴۹/۹۸۸۷	-/۰۰۳۹۳	۲/۲۶۰۳
-/۹۴۴۲	-/۴۲۸۴ <sup>***</sup>	۲/۳۱۲۱	۰/۴۸۹۴ <sup>*</sup>	۵/۹۹	۶/۷۰	۱۳/۵۲۷۵ <sup>***</sup>	۰/۶۹۳۷	۸۰/۷۶۳۸	-۳۰/۹۸۶۷	۰/۰۱۷۳
-/۹۴۷۴	-/۴۸۴۰ <sup>***</sup>	۲/۳۴۸۶	۰/۴۴۱۲ <sup>*</sup>	۵/۸۹	۶/۵۸	۱۴/۲۳۱۸ <sup>***</sup>	۰/۷۰۳۴	۷۵/۰۶۹۶	۷۲/۰۵۹۱	۰/۰۱۵۲
-/۹۵۲	-/۵۶۵۰ <sup>**</sup>	۲/۱۹۳۶	۰/۲۹۹۵ <sup>*</sup>	۶/۳۶	۷/۱۱	۵۳۷/۵۸۱ <sup>***</sup>	۰/۷۰۵	۵۰/۲۳۲	۰/۳۱۹	-/۰۰۱۱
-/۹۱۸۱	-/۱۸۰۲ <sup>***</sup>	۲/۱۸۰۶	۰/۳۵۹۵ <sup>*</sup>	۶/۵۷	۷/۳۵	۶۸۱/۹۵ <sup>***</sup>	۰/۶۳۰	۵۲/۰۴۸	۰/۱۶۷	-

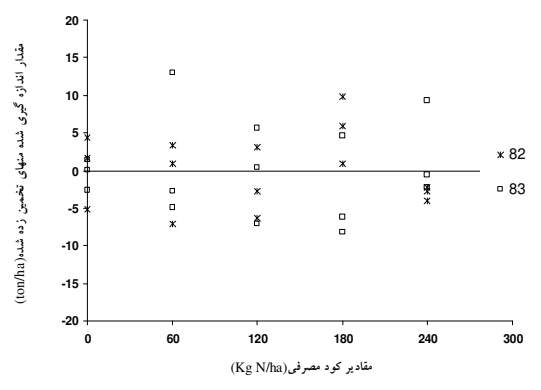
ف در سطح ۵ و ۱ درصد



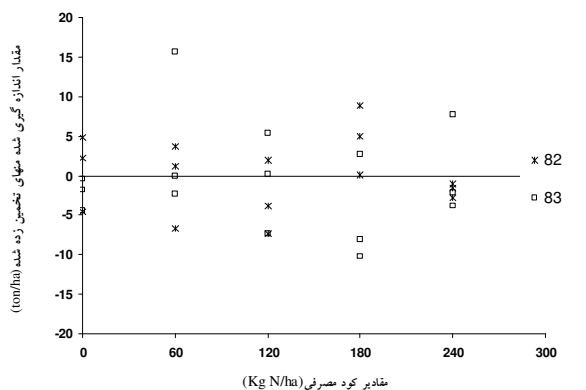
(ب) مدل درجه دو با آستانه



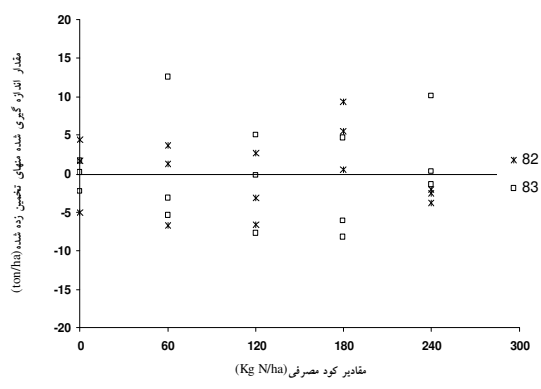
(الف) مدل خطی با آستانه



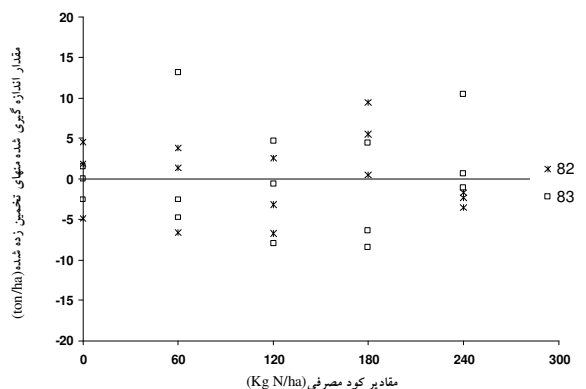
(د) مدل جذری



(ج) مدل چند جمله‌ای درجه دو



(ز) مدل هیپربولیک مثلثاتی



(و) مدل میتچرلیخ

شکل ۱ توزیع باقی مانده های مدل های مورد بررسی در عملکرد ریشه چغندر قند در سطوح مختلف کودی

جدول ۴ مقادیر حداکثر و بهینه کود نیتروژن مصرفی در چغندرقد حاصل از مدل‌ها

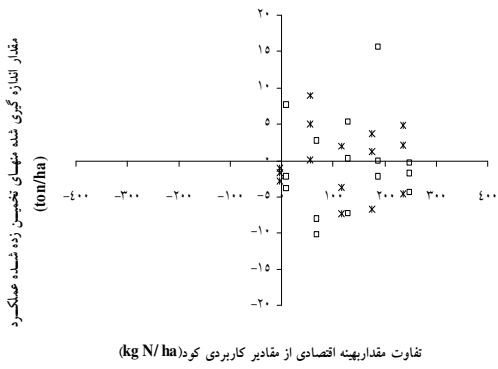
سال	مدل	حداکثر کود (کیلوگرم در هکتار)	مقدار بهینه کود (کیلوگرم در هکتار)	حداکثر محصول (تن در هکتار)
۱۳۸۲	درجه ۱ با آستانه	۱۸۰/۰	۱۵۷/۸	۵۵/۰
	درجه ۲ با آستانه	۱۸۰/۰	§	۵۵/۰
	درجه ۳	۲۴۰/۲	۲۳۵/۸	۵۵/۵
	جذری	۲۱۳/۷	۲۶۴/۱	۵۵/۳
	میچرلیخ	-	+	۶۱/۱
	هیپربولیک مثلثاتی	-	+	۷۴/۴
۱۳۸۳	درجه ۱ با آستانه	۱۶۰/۰	۱۳۱/۴	۷۴/۰
	درجه ۲ با آستانه	۱۸۰/۰	۱۵۸/۲	۷۴/۰
	درجه ۳	۲۵۲/۰	۲۴۸/۹	۷۷/۳
	جذری	+	+	۸۲/۵
	میچرلیخ	-	+	۷۵/۰
	هیپربولیک مثلثاتی	-	+	۸۰/۸

جدول ۵ مقدار بهینه کود نیتروژن بر اساس قیمت‌های دولتی و آزاد کود اوره در سال ۱۳۹۰ در مدل‌های سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳

مدل	اطلاعات سال ۱۳۸۲	اطلاعات سال ۱۳۸۳
دولتی	درجه ۱ با آستانه	۱۳۱/۴
	درجه ۲ با آستانه	۱۵۷/۹
	درجه ۳	۲۳۴/۷
	جذری	۲۸۰/۷
	میچرلیخ	+
هیپربولیک مثلثاتی	+	
آزاد	درجه ۱ با آستانه	۱۳۱/۴
	درجه ۲ با آستانه	۱۵۵/۰
	درجه ۳	۲۴۰/۸
	جذری	+
	میچرلیخ	+
هیپربولیک مثلثاتی	§	

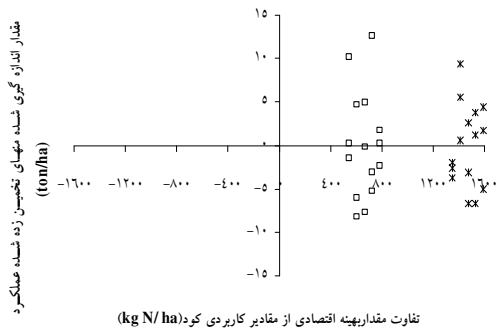
علامت‌های § ، + به ترتیب نشانگر مقادیر منفی یا بسیار زیاد کود هستند. (مقادیر دور افتاده)

اختلاف بین مقدار بهینه اقتصادی و مقادیر کاربردی کود در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده منهای برآورد شده



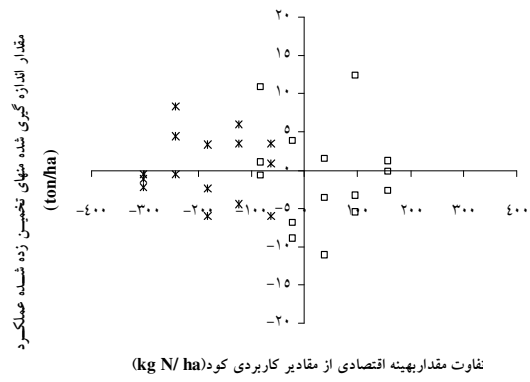
× ۱۳۸۲ □ ۱۳۸۳

ج) مدل چند جمله‌ای درجه دو



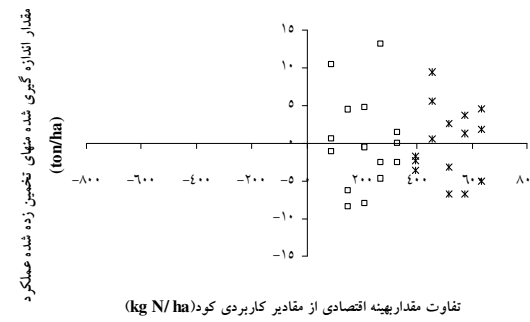
× ۱۳۸۲ □ ۱۳۸۳

ز) مدل هیپربولیک مثلثاتی



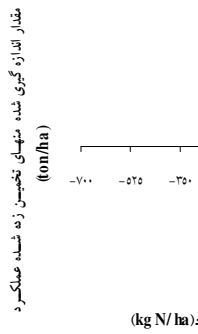
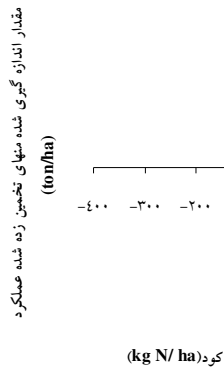
× ۱۳۸۲ □ ۱۳۸۳

ب) مدل درجه دو با آستانه



× ۱۳۸۲ □ ۱۳۸۳

و) مدل میتچرلیچ



**References:****منابع مورد استفاده:**

- Anon. Selected basic statistics of Hamedan Jihad-e-Agriculture in 2005 . Deputy of Hamedan Jihad-e-Agriculture. 2006. (in Persian)
- Anon. Selected basic statistics of Hamedan Jihad-e-Agriculture in 2009 . Deputy of Hamedan Jihad-e-Agriculture. 2010a. (in Persian)
- Anon. Analysis of the guaranteed price of wheat (5). Wheat information Network. 2010b. <http://www.iranwheat.ir/tahlil/85aban/06.asp>(in Persian)
- Anon. SigmaPlot Statistics. Systat Software. 2010c; 465 p.
- Anon. Selected basic statistics of Hamedan Jihad-e-Agriculture in 2009 . Deputy of Hamedan Jihad-e-Agriculture. 2011. (in Persian)
- Adams RM, Farris PG, Halvorson AD. Sugar beet N fertilization and economic optima: Recoverable sucrose vs. root yield. *Agron. J.*, 1983; 75: 173-176.
- Anderson FN, Peterson GA. Effect of incrementing nitrogen application on sucrose yield of sugar beet. *Agron. J.*, 1988; 80: 709-712.
- Belanger G, Walsh JR, Richards JE, Milburn PH, Ziadi N. Comparison of three statistical models describing potato yield response to nitrogen fertilizer. *Agron. J.*, 2000; 92: 902-908.
- Bilbao M, Martinez JJ, Delgado A. Evaluation of soil nitrate as a predictor of nitrogen requirement for sugar beet grown in a Mediterranean climate. *Agron. J.*, 2004; 96:18-25.
- Bullok DG, Bullok DS. Quadratic and Quadratic-Plus Plateau Models for Predicting Optimal Nitrogen Rate of Com: A Comparison. *Agron. J.*, 1994; 83: 191-195.
- Cerrato ME, Blackmer AM. Comparison of models for describing corn yield response to nitrogen fertilizer. *Agron. J.*, 1990; 82: 138-143.
- Cattanach A, Dahnke WC, Fanning C. Fertilizing Sugar beet. Nnorth Dakota State University. 1993; Available on: <http://www.ag.ndsu.edu/pubs/plantsci/soilfert/sf714w.htm>.

- Dinar A, Yaron D. Adoption and abandonment of irrigation technologies. *Agricultural Economics*. 1992; 6: 315- 332.
- Franke AC, Schulz S, Oyewole BD, Bako S. Incorporating short-season legumes and green manure crops into maize-based systems in the moist Guinea savannah of West Africa. *Experimental Agriculture*, 2004; 40: 463-79.
- Hills FJ, Salisbury R, Ulrich A. Sugar beet Fertilization. 1978; Univ. CA Bull. 1891.
- Howell TA. Enhancing water use efficiency in irrigated agriculture. *Agron. J.*, 2001; 93: 281-289.
- Lim WJ, Kim SH, Yoon YM. The Selection of Yield Response Model of Sugar beet (*Beta vulgaris* var. *Aaron*) to Nitrogen Fertilizer and Pig Manure Compost in Reclaimed Tidal Land Soil. *Korean J. Soil Sci. Fert.* 2010; 43(2): 174-179.
- Mortensen JR, Beattie BR. Does choice of response function matter in setting maximum allowable N-application rates in Danish agriculture? Working paper. Department of Agricultural and Resource Economics. 2005. College of Agriculture and Life Sciences. Arizona university. <http://ag.arizona.edu/arec/pubs/researchpapers/2005-01mortensenbeattie.pdf>.
- Pour Marvi S. A Comparison of Three Mathematical Models of Response to Applied Nitrogen Using Lettuce. *World Journal of Agricultural Sciences*, 2008; 4(6): 699-703.
- Rezvani SM, Noruzi A., Azari K. Impacts of different irrigation systems and nitrogen fertilizer on yield and water use efficiency of sugarbeet. *Journal of Sugar Beet*, 2009; 24(2): 57-72. (in Persian, abstract in English)
- Sayili M, Akca H. Comparison of different models for describing sugarbeet yield response to nitrogen fertilizer (Case study of Turkey). *Asian Journal of Plant Sciences*. 2004; 3 (4): 529-531.
- Sumelius J, Grgić Z, Mesić M, Franić R. Farm level cost of reducing nitrate leaching by economic instruments in Croatian farming systems. 2002. CEESA Discussion Paper No. 11. Berlin, Humboldt University of Berlin, Chair of Resource Economics.



Tageldin MH, El-Gizawy NKB. Linear and nonlinear-segmented models describing response of maize grain yield to nitrogen fertilization. 2005; The 11th Agronomy Conf., Assiut Univ., 15-16 November, Egypt.

Talleghani D. Evaluation of water usage and nitrogen in sugar beet at optimum and stress conditions and two sowing patterns. (PhD thesis). Azad university of Tehran. 1998. (in Persian, abstract in English)

Weeden BR. Potential of Sugar Beet on the Atherton Tableland. Rural Industries Research and Development Corporation. 2000; Available on: <http://www.rirdc.gov.au>.

Wortmann CS, Mamo M, Dobermann A. Nitrogen response of grain sorghum in rotation with soybean. *Agron. J.*, 2007; 99: 808-813.