

# Στατιστική Μοντελοποίηση του Ενεργού Αριθμού Μεταδοτικότητας της πανδημίας COVID-19 στην Κύπρο

Σέργιος Αγαπίου

Τμήμα Μαθηματικών και Στατιστικής, Πανεπιστήμιο Κύπρου

29 Σεπτεμβρίου 2020, 6η Παγκύπρια Ημερίδα Δημόσιας Υγείας  
(Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου)



University  
of Cyprus

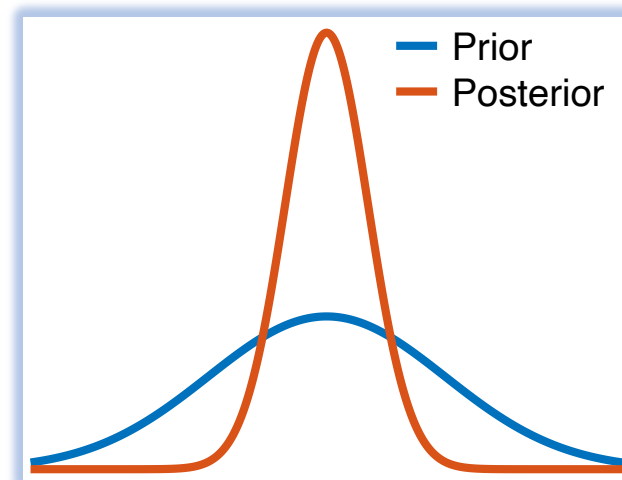
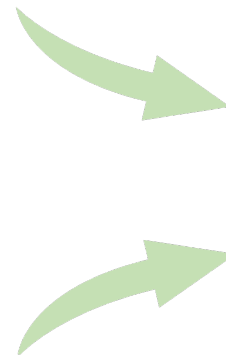
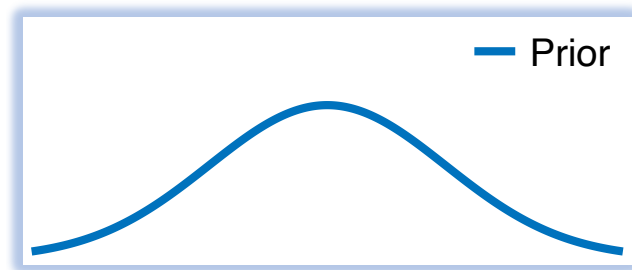


S. Agapiou, A. Anastasiou, A. Baxevani, T. Christofides, E. Constantinou, G. Hadjigeorgiou, C. Nicolaidis, G. Nikolopoulos and K. Fokianos, *Modeling of COVID-19 pandemic in Cyprus*, submitted, 2020.

Αναμενόμενος συνολικός αριθμός μεταδόσεων  
για κάθε άτομο που προσβάλλεται

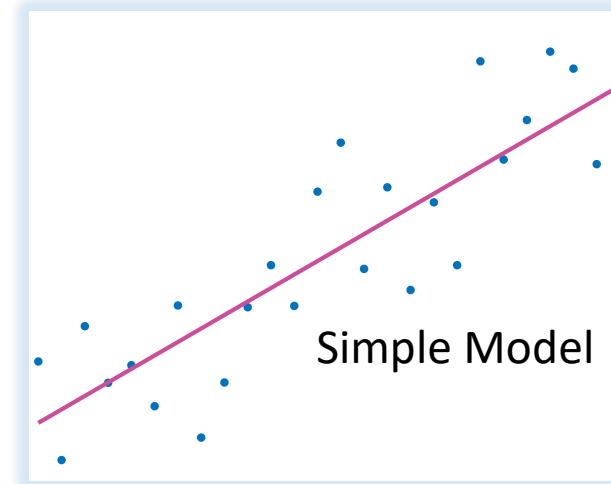
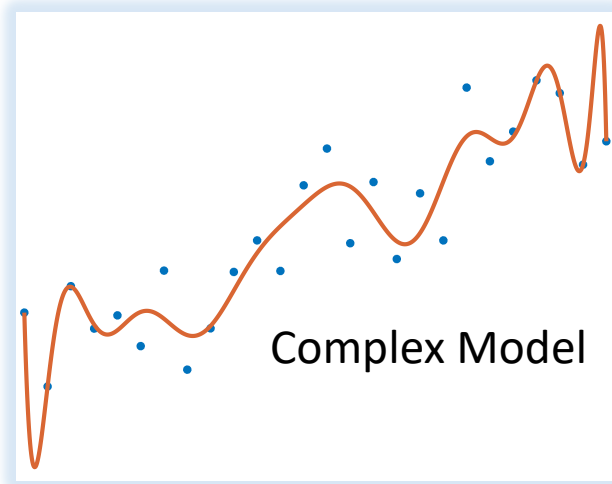
- Βασικός  $R_0$  - στην έναρξη της επιδημίας
- Ενεργός  $R_t$  - τη χρονική στιγμή  $t$ , π.χ. σήμερα
- Σημαντικός στη λήψη αποφάσεων:  $R_t > 1$  αύξηση,  $R_t < 1$  μείωση κρουσμάτων
- Δεν είναι βιολογική ποσότητα
- Υπολογίζεται και έχει νόημα στα πλαίσια συγκεκριμένων επιδημιολογικών μοντέλων

Νόμος του Bayes:  $\mathbb{P}(\theta|\mathbf{y}) \propto \mathbb{P}(\mathbf{y}|\theta) \times \mathbb{P}(\theta)$



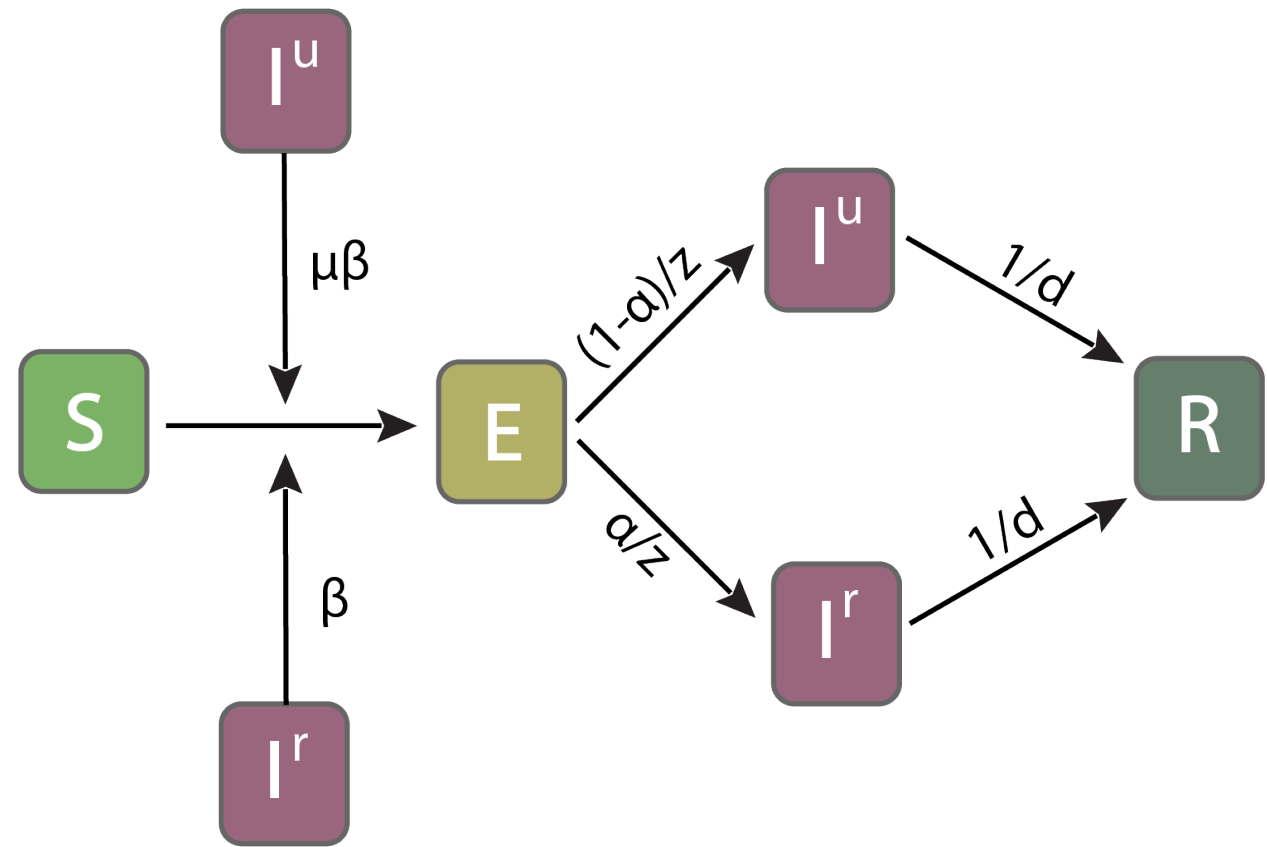
Μοντέλο  
Παρατηρήσεων,  
Πιθανοφάνεια

*All models are wrong, but some are useful (George Box)*



# Μοντέλο SEIR με Ασυμπτωματικούς Ασθενείς

- **S**usceptible
- **E**xposed
- **I**nfected - **r**eported
- **I**nfected - **u**nreported
- **R**ecovered
- Στοχαστικό μοντέλο
- Μηχανισμός καθυστέρησης
- Σχεδιάγραμμα: Χ. Νικολαΐδης



Έξοδος μοντέλου: ημερήσιος αριθμός καταγεγραμμένων κρουσμάτων  $Y(t)$

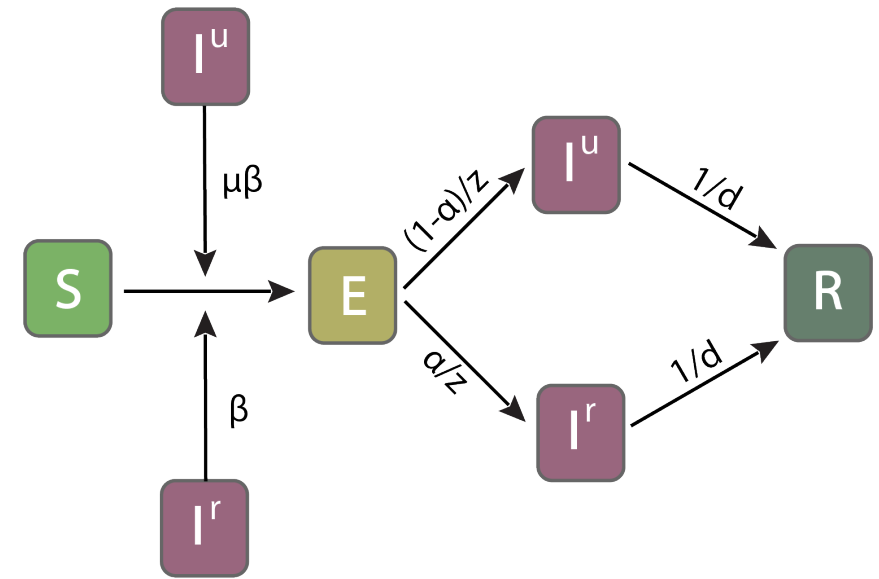


R. Li, S. Pei, B. Chen, Y. Song, T. Zhang, W. Yang and J. Shaman, *Substantial undocumented infection facilitates the rapid dissemination of novel coronavirus (SARS-CoV2)*, Science, 2020.

# Μοντέλο SEIR με Ασυμπτωματικούς Ασθενείς

Παράμετροι μοντέλου

- $\beta$  ρυθμός μετάδοσης (μέρες<sup>-1</sup>)
- $\mu$  σχετικός ρυθμός μετάδοσης ασυμπτωματικών
- $Z$  μέσος χρόνος επώασης (μέρες)
- $D$  μέση περίοδος μολυσματικότητας (μέρες)
- $\alpha$  ποσοστό εντοπισμένων



$$R_t = \alpha\beta D + (1 - \alpha)\mu\beta D$$

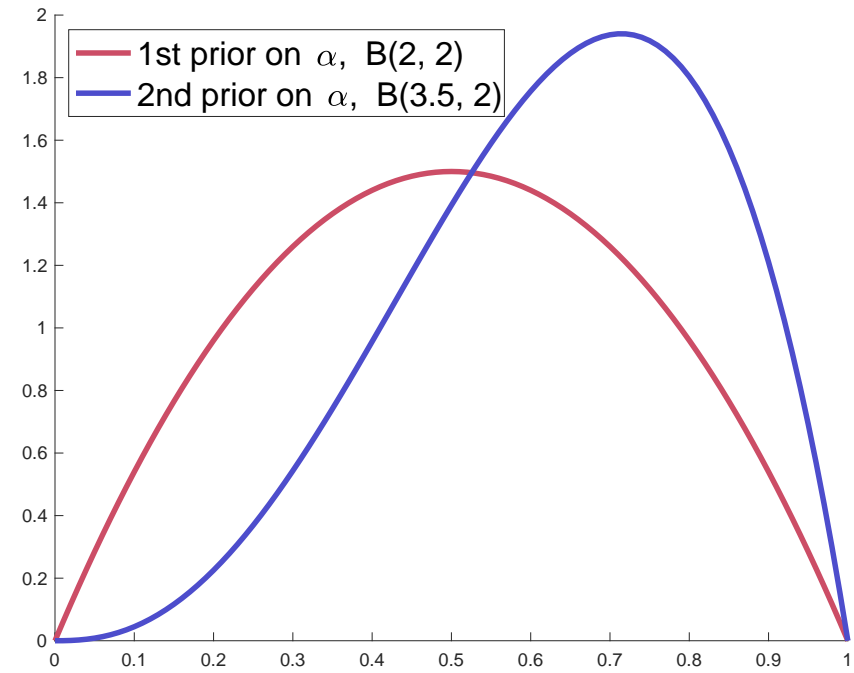
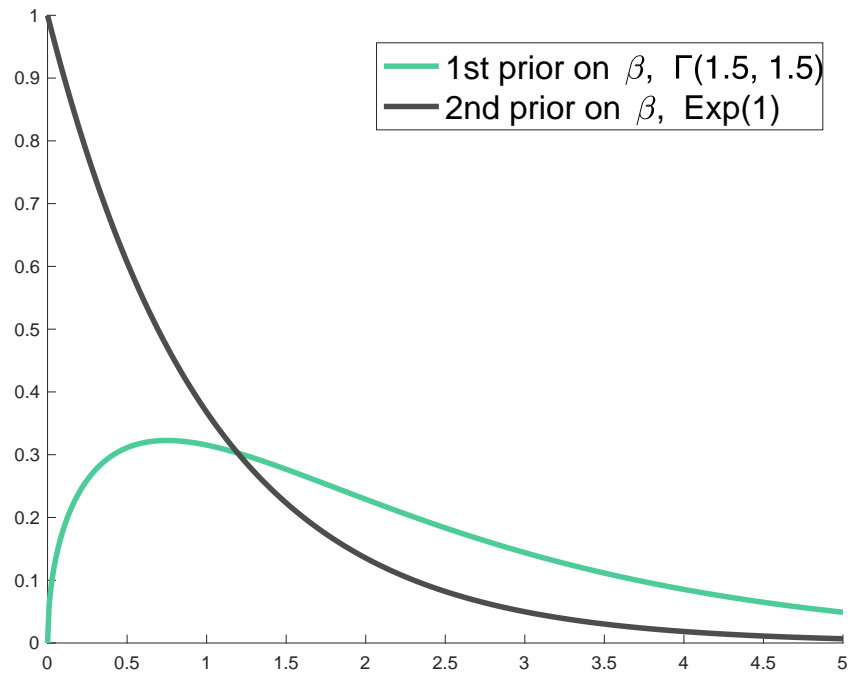
# Μοντέλο SEIR με Ασυμπτωματικούς Ασθενείς

- **Υπόθεση:**  $\mu, Z, D$  έχουν παγκοσμίως σταθερή τιμή που δεν αλλάζει με το χρόνο
- $D = 3.5, \mu = 0.5$  όπως εκτιμήθηκαν στο Li et al. 2020
- $Z = 5.1$  διεθνώς αποδεκτός μέσος χρόνος επώασης
- Εκτιμούμε  $\alpha, \beta$  που έχουν τιμές που αλλάζουν με το χώρο και το χρόνο
- **Υπόθεση:**  $Y(t)$  ανεξάρτητες Κανονικές τ.μ.
- Κατασκευή πιθανοφάνειας για τα  $\alpha, \beta | Y$  (intractable)



- Εκτίμηση των  $\alpha$ ,  $\beta$  και συνεπώς του  $R_t$ , σε 6 περιόδους των 2 εβδομάδων 7/3-29/5
- Χρήση δεδομένων του υπουργείου υγείας
- Ημερήσιος αριθμός κρουσμάτων με βάση την ημερομηνία λήψης του 1ου δείγματος
- Εγχώριες μεταδόσεις μόνο

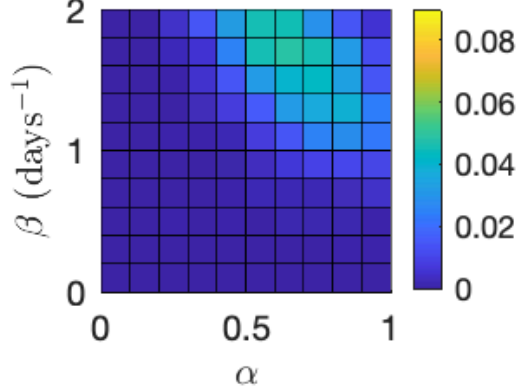
# Εκ των Προτέρων Κατανομή των $\alpha$ και $\beta$



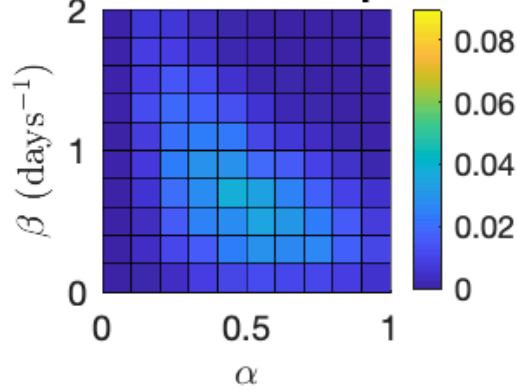
Χρήση **independence sampler** για προσέγγιση posterior των  $\alpha, \beta$  και συνεπώς  $R_t$

# Αποτελέσματα - Εκ των Υστέρων Κατανομή των $\alpha$ και $\beta$

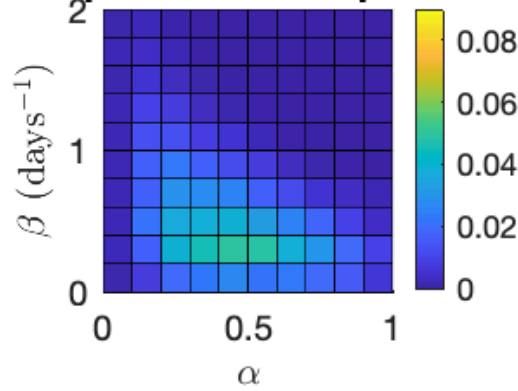
07-Mar-2020 -- 20-Mar-2020



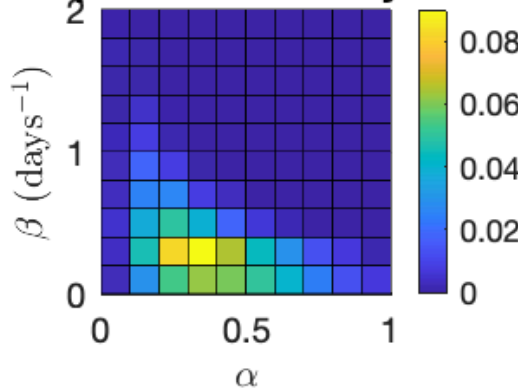
21-Mar-2020 -- 03-Apr-2020



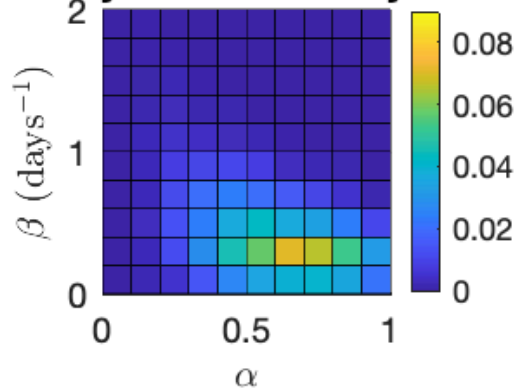
04-Apr-2020 -- 17-Apr-2020



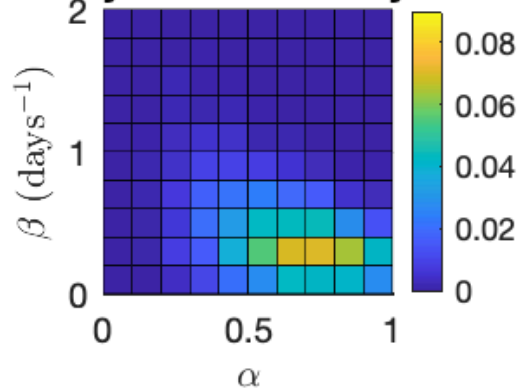
18-Apr-2020 -- 01-May-2020



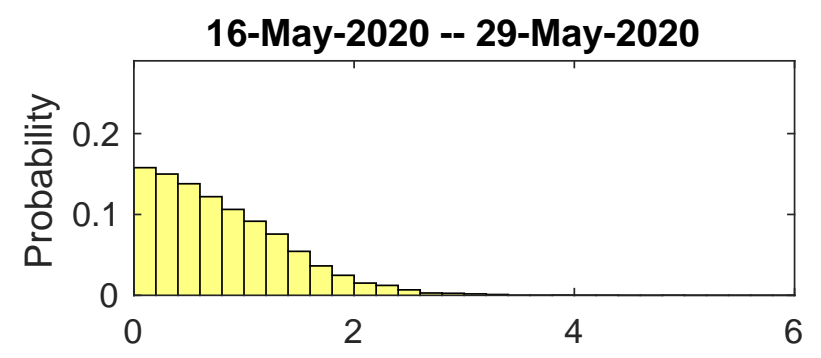
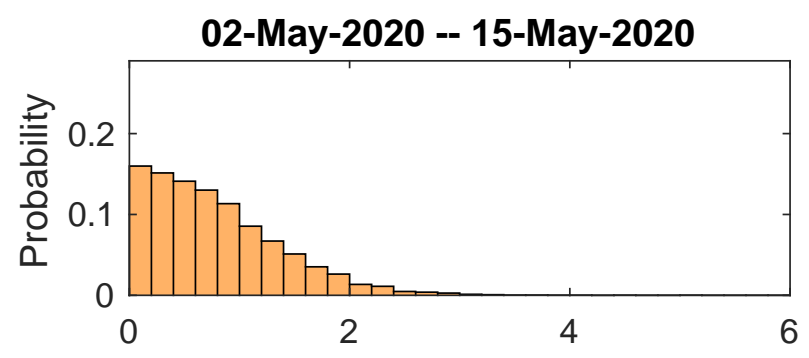
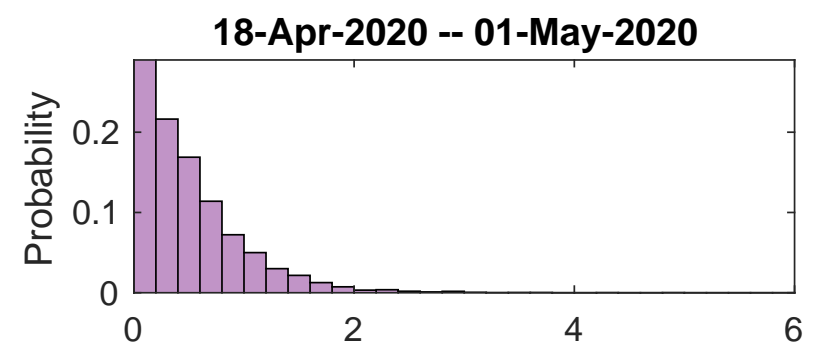
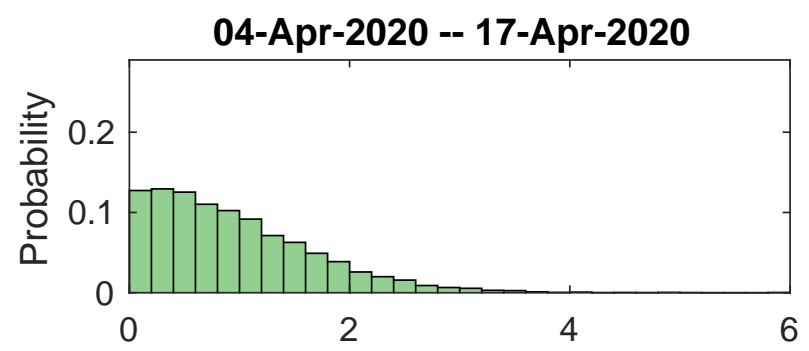
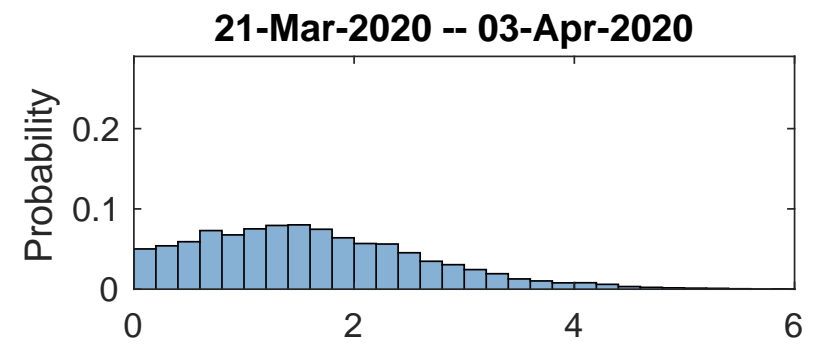
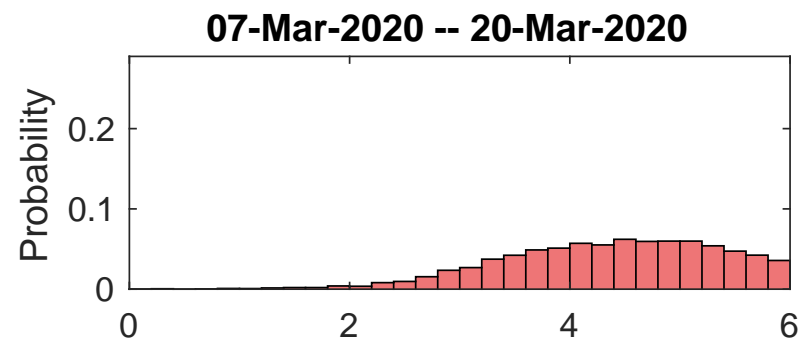
02-May-2020 -- 15-May-2020



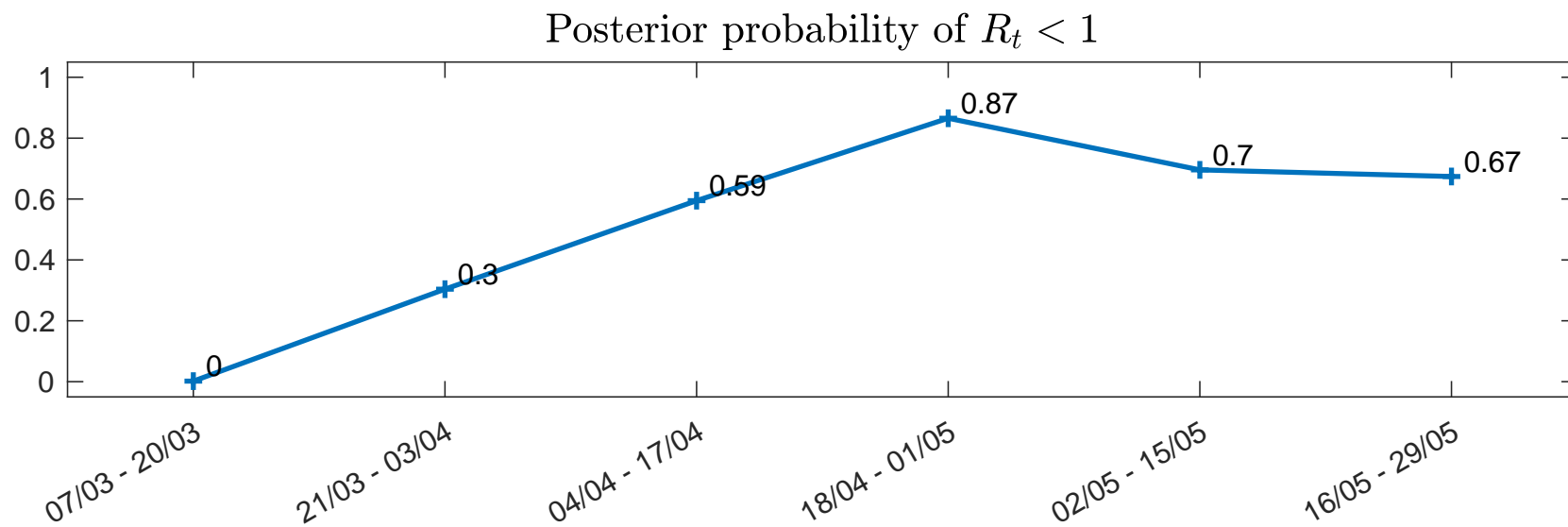
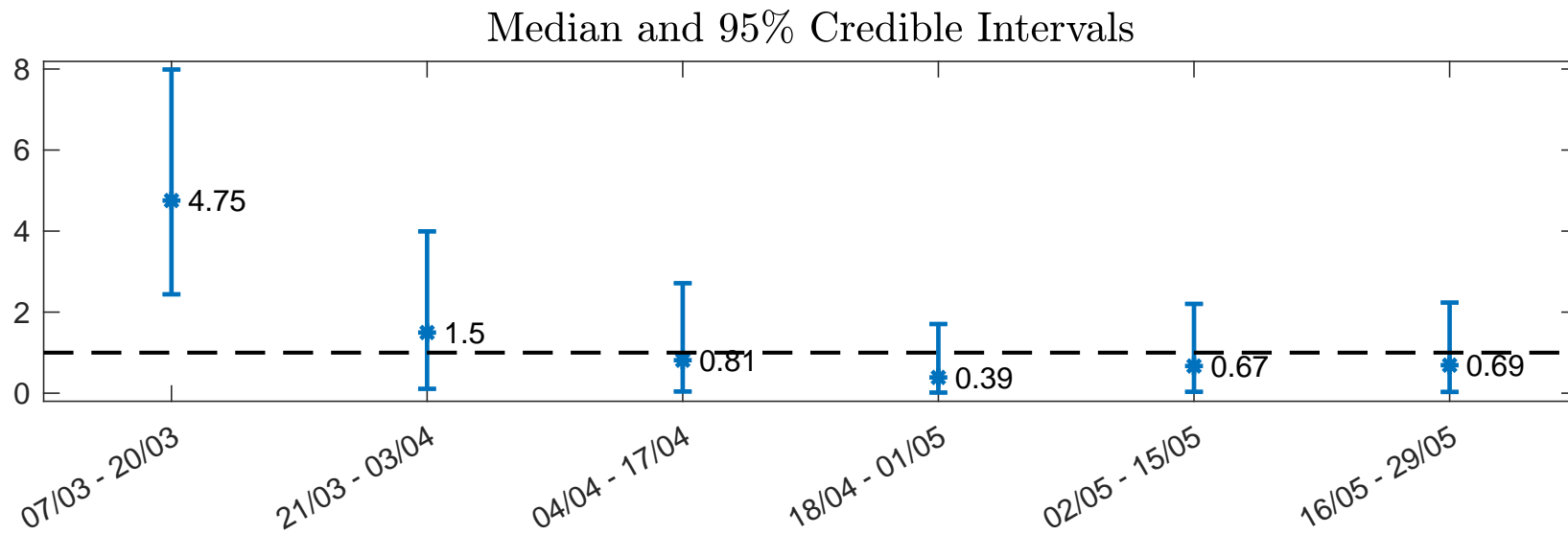
16-May-2020 -- 29-May-2020



# Αποτελέσματα - Εκ των Υστέρων Κατανομή του $R_t$

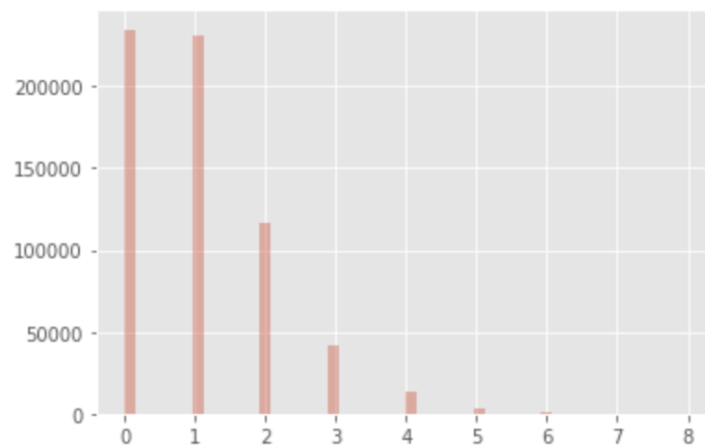
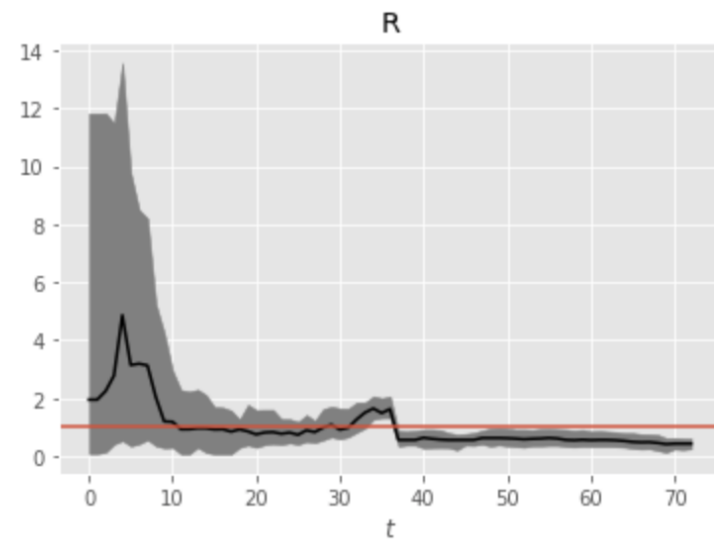
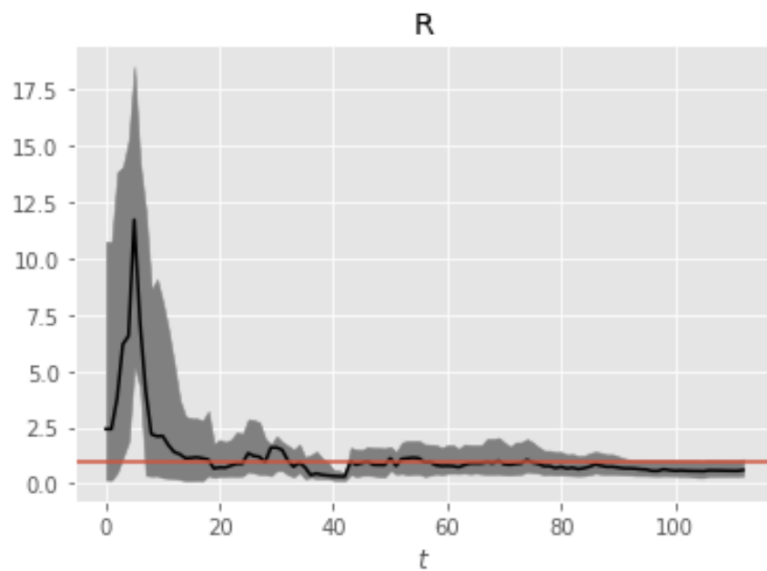


# Αποτελέσματα - Εκ των Υστέρων Κατανομή του $R_t$








# Εκτίμηση του $R_t$ με Χρήση $SMC^2$

Σε συνεργασία με Ο. Παπασπηλιώπουλο (UPF, Barcelona) και N. Chopin (ENSAE, Paris)



- Μπεϋζιανή ποσοτικοποίηση της αβεβαιότητας και **COVID-19**
- Άλλα μοντέλα (με δίκτυο επαρχιών, με καραντίνα, με χρήση ανάλιξης **Poisson**,...)
- **Change point detection**
- Πρόβλεψη μελλοντικών κρουσμάτων
- Συνεργασία μεταξύ διαφορετικών επιστημονικών περιοχών
- Περαιτέρω δουλειά: δημιουργία μεθόδων προσαρμοσμένων στην κυπριακή πραγματικότητα, πρόβλεψη αναγκών σε κλίνες ή ΜΕΘ, άλλα νοσήματα,...

-  S. Agapiou, A. Anastasiou, A. Baxevani, T. Christofides, E. Constantinou, G. Hadjigeorgiou, C. Nicolaides, G. Nikolopoulos and K. Fokianos, *Modeling of COVID-19 pandemic in Cyprus*, submitted, 2020.
-  R. Li, S. Pei, B. Chen, Y. Song, T. Zhang, W. Yang and J. Shaman, *Substantial undocumented infection facilitates the rapid dissemination of novel coronavirus (SARS-CoV2)*, *Science*, 2020.
-  A. Cori, N. M. Ferguson, C. Fraser, and S. Cauchemez, *A New Framework and Software to Estimate Time-Varying Reproduction Numbers During Epidemics*, *American Journal of Epidemiology*, 2013.
-  S. G. Benzell, A. Collis, C. Nicolaides, *Rationing social contact during the COVID-19 pandemic: Transmission risk and social benefits of US locations*, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2020.
-  N. Chopin, P. Jacob and O. Papaspiliopoulos, *SMC2: an efficient algorithm for sequential analysis of state space models*, *Journal of the Royal Statistical Society B*, 2012.